

**ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA SCADA PARA POZOS PETROLEROS  
DE LA EMPRESA PETROBRÁS.**

**JAVIER MAURICIO ORTIZ MARTÍNEZ  
JOSÉ LUIS SALAZAR PINEDA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA**

**2008**

**ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA SCADA PARA POZOS PETROLEROS  
DE LA EMPRESA PETROBRÁS.**

**JAVIER MAURICIO ORTIZ MARTÍNEZ  
JOSÉ LUIS SALAZAR PINEDA**

**Tesis de grado para optar al título de Ingenieros Electrónicos**

**Director del proyecto  
ING. FRANCISCO JAVIER DIETES  
Director Empresarial  
ING. EDGAR RIASCOS  
Ingeniero de proyectos  
PETROBRÁS / PINS - ETSA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN  
BUCARAMANGA**

**2008**

**TABLA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

*Alex Foncla*  
\_\_\_\_\_  
**Presidente de Jurado**

*Alex Foncla*  
\_\_\_\_\_  
**Firma de Jurado**

*Juan Carlos Martillo S.*  
\_\_\_\_\_  
**Firma de Jurado**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios nuestro señor por la oportunidad que hemos tenido de aprender, mejorar y de crecer junto a personas tan especiales para nosotros.

A nuestros padres por brindarnos un hogar cálido y enseñarnos que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos.

A nuestros hermanos y hermanas, por estar siempre ahí, en las alegrías y en las penas, y por depositar su absoluta confianza en nosotros.

A nuestro Director de Tesis, Francisco Javier Dietes por su generosidad al brindarnos la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en un marco de confianza, afecto y amistad, fundamentales para la culminación de este trabajo.

A Petrobrás su invaluable apoyo logístico y económico sin los cuales hubiera sido imposible realizar este trabajo.

A el Ing. Bernardo Morales, por sus sabios consejos y asesoría para la orientación y realización de esta investigación.

A los Ings. Edgar Riascos y Adolfo Uribe, por sus valiosas sugerencias y acertados aportes durante el desarrollo de este trabajo.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hacemos extensivo nuestro más sincero agradecimiento.

## **DEDICATORIA**

A nuestros Padres por estar ahí cuando más los necesitamos; por su ayuda y constante cooperación.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
1.1	OBJETIVO GENERAL .....	19
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	19
<b>2</b>	<b>CONCEPTO BÁSICO DE UN POZO DE PETRÓLEO .....</b>	<b>20</b>
2.1	MÉTODOS DE PRODUCCIÓN / BOMBEO .....	22
2.1.1	<i>Bombeo Mecánico (MP Mechanical Pumping).....</i>	22
2.1.2	<i>Bombas de Cavidades Progresivas o PCP (Progressing Cavity Puma).....</i>	23
2.1.3	<i>Bombeo electrosumergible o ESP (Electrical Submersible Pumps).....</i>	24
2.1.4	<i>Ascenso por inyección de gas o gaslift.....</i>	26
2.2	COMPONENTES SUPERFICIALES.....	27
2.2.1	<i>Bola Colgadora.....</i>	27
2.2.2	<i>Caja de viento.....</i>	28
2.2.3	<i>Tablero de control.....</i>	28
2.2.4	<i>Transformador .....</i>	28
2.2.5	<i>Accesorios .....</i>	28
2.2.6	<i>Válvula de contra presión .....</i>	29
2.2.7	<i>Válvula de drene.....</i>	29
2.2.8	<i>Controlador de velocidad variable.....</i>	29
<b>3</b>	<b>SISTEMA SCADA .....</b>	<b>31</b>
3.1	GENERALIDADES DE UN SISTEMA SCADA.....	31
3.1.1	<i>Concepto básico del sistema SCADA .....</i>	31
3.1.2	<i>Justificación de un sistema SCADA.....</i>	31
3.1.3	<i>Funciones de un sistema SCADA .....</i>	32
3.1.4	<i>Seguridad de un sistema SCADA .....</i>	32
3.2	NIVELES DEL SISTEMA SCADA .....	33
<b>4</b>	<b>NIVEL DE INSTRUMENTACIÓN.....</b>	<b>34</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DE LOS SENSORES .....	34
4.1.1	<i>Transductor.....</i>	35
4.1.2	<i>Sensor Digital Mono-Punto.....</i>	35
4.2	SENSOR DIGITAL MULTI-PUNTO .....	36
4.2.1	<i>Longevidad del Sensor Digital Multi-Punto.....</i>	37
4.2.2	<i>Resistencia a Gases y Líquidos Producidos o Inyectados en Pozo .....</i>	37
4.3	FUNDAMENTOS OPERATIVOS DEL SENSOR DIGITAL MULTI-PUNTO.....	38
4.3.1	<i>Transmisión de Señal en el Sensor Digital Multi-Punto .....</i>	38
4.3.2	<i>Soluciones del Sensor Digital Multi-Punto .....</i>	38
4.4	SISTEMA ÓPTICO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA DISTRIBUIDA .....	39
4.5	MEDIDOR DE FLUJO MULTIFÁSICO ÓPTICO.....	41
4.5.1	<i>Aplicaciones para el Medidor de Flujo Multifásico Óptico .....</i>	42
4.5.2	<i>Características, Ventajas y Beneficios del Medidor de Flujo Multifásico Óptico .....</i>	42
4.5.3	<i>Opciones del Medidor de Flujo Multifásico Óptico .....</i>	44
4.6	SENSOR ÓPTICO DE PASO DIRECTO PARA PRESIÓN / TEMPERATURA. ....	44
4.7	APLICACIONES PARA EL SENSOR ÓPTICO DE PASO DIRECTO.....	45
4.7.1	<i>Características del Sensor Óptico de Paso Directo para Presión/Temperatura .....</i>	45
4.8	SENSOR ÓPTICO DE PRESIÓN-TEMPERATURA .....	46
4.8.1	<i>Aplicaciones para el Sensor Óptico de Presión-Temperatura .....</i>	47
4.8.2	<i>Características, Ventajas y Beneficios del Sensor Óptico de Presión-Temperatura.....</i>	47
4.9	VARIADOR DE VELOCIDAD O (VSD) .....	48
4.9.1	<i>Como está compuesto un variador de velocidad.....</i>	49
4.9.2	<i>El motor.....</i>	51
4.9.3	<i>El convertidor de frecuencia .....</i>	52

<b>5</b>	<b>NIVEL DE RTU.....</b>	<b>54</b>
5.1	UNIDADES TERMINALES REMOTAS RTU.....	54
5.1.1	<i>Unidad Central de Proceso.....</i>	55
5.1.2	<i>Tarjetas de Entrada/Salida .....</i>	56
5.2	TARJETA MODBUS .....	56
5.2.1	<i>Especificaciones de Ingeniería.....</i>	57
5.3	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) .....	58
5.3.1	<i>Ventajas e inconvenientes de los PLC's .....</i>	59
5.4	TIPOS DE ENCERRAMIENTOS NEMA .....	60
<b>6</b>	<b>NIVEL DE COMUNICACIONES .....</b>	<b>62</b>
6.1	MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS.....	65
6.1.1	<i>Pares trenzados .....</i>	65
6.1.2	<i>Cable coaxial.....</i>	66
6.1.3	<i>Fibra óptica.....</i>	67
6.2	MEDIOS DE TRANSMISIÓN NO GUIADOS. ....	68
6.2.1	<i>Radio enlaces de VHF y UHF.....</i>	68
6.2.2	<i>Microondas.....</i>	70
6.2.3	<i>Sistema Satelital.....</i>	73
6.3	EL PUERTO SERIE Y LA COMUNICACIÓN ASÍNCRONA.....	76
6.3.1	<i>Puerto RS-232 .....</i>	76
6.3.2	<i>Puerto RS-485 .....</i>	78
6.4	BUSES DE CAMPO .....	80
6.4.1	<i>HART.....</i>	80
6.4.2	<i>PROFIBUS (Process Field Bus) .....</i>	81
6.4.3	<i>FOUNDATION FIELDBUS .....</i>	83
6.4.4	<i>BITBUS .....</i>	84
6.4.5	<i>MODBUS .....</i>	87
6.5	COMUNICACIONES DE DATOS .....	91
6.5.1	<i>Conmutación De Paquetes .....</i>	91
6.6	REDES DE COMUNICACIONES .....	92
6.6.1	<i>Redes LAN.....</i>	92
6.6.2	<i>Redes MAN.....</i>	93
6.6.3	<i>Redes WAN.....</i>	94
6.6.4	<i>Redes Internet.....</i>	94
6.6.5	<i>Redes inalámbricas .....</i>	95
6.7	PROTOCOLOS DE RED.....	96
6.7.1	<i>EL MODELO OSI ("OPEN SYSTEMS INTERCONNECTION").....</i>	96
6.7.2	<i>MODELO DoD .....</i>	97
6.8	ENLACES DE DATOS.....	98
6.8.1	<i>Topología de red .....</i>	98
6.8.2	<i>Protocolo Estándar.....</i>	103
6.9	LAN INDUSTRIALES .....	105
6.9.1	<i>Técnicas de Acceso al Medio .....</i>	105
6.9.2	<i>Sistemas TOKEN BUS.....</i>	108
6.10	EL ESTÁNDAR IEEE 802.X.....	109
6.11	REDES INDUSTRIALES.....	110
6.12	SISTEMAS DE ANTENA .....	116
6.12.1	<i>Antenas de Radio.....</i>	118
6.12.2	<i>Antenas de Microondas .....</i>	119
6.12.3	<i>Antena Satelital .....</i>	120
6.12.4	<i>Sistema Repetidor.....</i>	121
<b>7</b>	<b>NIVEL DE CONTROL.....</b>	<b>123</b>
7.1	SISTEMA OPERATIVO.....	123
7.2	SOFTWARE DE PRESENTACIÓN O INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (MMI) .....	125
7.2.1	<i>Principales funciones del HMI.....</i>	125

7.3	FUNCIONES ESPECÍFICAS .....	125
7.3.1	Validación de datos.....	125
7.3.2	Despliegues gráficos.....	126
7.3.3	Tendencias.....	126
7.3.4	Históricos.....	127
7.3.5	Alarmas.....	128
7.4	MODULOS .....	130
7.4.1	Modulo de configuración .....	130
7.4.2	Interfaz gráfico del operador .....	130
7.4.3	Módulo de proceso .....	131
7.4.4	Gestión y archivo de datos .....	131
7.4.5	Comunicaciones .....	132
7.5	REQUISITOS DE UN HMI .....	132
<b>8</b>	<b>PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS .....</b>	<b>134</b>
8.1	POLARIZACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	134
8.1.1	Radiación electromagnética.....	135
8.2	ATENUACIÓN Y ABSORCIÓN DE ONDAS.....	137
8.3	PROPIEDADES DE LAS ONDAS DE RADIO.....	139
8.3.1	Reflexión de ondas.....	140
8.3.2	Refracción de ondas.....	140
8.4	FENÓMENOS DE PROPAGACIÓN A FRECUENCIAS DE MICROONDAS .....	142
8.4.1	Atenuación y dispersión por lluvia.....	142
8.4.2	Atenuación por niebla .....	143
8.4.3	Atenuación por gases atmosféricos .....	144
8.4.4	Efectos de la vegetación y de las reflexiones de multicamino.....	145
8.4.5	Zona de Fresnel.....	147
8.5	ANTENAS .....	150
8.5.1	Resistencia de radiación .....	150
8.5.2	Eficiencia de la antena.....	151
8.5.3	Ganancia directa y ganancia de potencia.....	152
8.5.4	Potencia isotropica efectiva irradiada.....	153
<b>9</b>	<b>MONITOREO DE POZOS REMOTOS EN LOS CAMPOS DE PETROBRÁS.....</b>	<b>156</b>
9.1	ANTECEDENTES.....	159
9.1.1	Identificación del problema.....	159
9.1.2	Planteamiento de soluciones.....	160
9.2	ESTUDIOS DE VIABILIDAD .....	162
9.2.1	Estandarización de variadores de velocidad en el DPSU (Distrito de Producción Sur).....	162
9.2.2	Compatibilidad para el monitoreo remoto.....	162
9.3	EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	163
9.3.1	Gestión del diseño para el monitoreo de pozos.....	163
9.3.2	Sistema Supervisorio de Petrobrás .....	169
9.4	SEGUIMIENTO DEL PROYECTO .....	173
9.4.1	Instalación de equipos para el monitoreo de pozos .....	173
<b>10</b>	<b>SISTEMA DE RADIO ENLACE.....</b>	<b>186</b>
10.1	MODELO MATEMÁTICO.....	186
10.1.1	Perfiles topográficos: .....	186
10.1.2	Perfil Isla I – Repetidora Isla H .....	187
10.1.3	Perfil Repetidora Isla H – Centro de Control .....	191
10.1.4	Perfil Topográfico Isla I-Repetidora Isla H-Centro de Control.....	194
10.2	SOFTWARE PARA RADIO ENLACES .....	194
<b>11</b>	<b>MONITOREO REMOTO DE LOS CAMPOS DE PETROBRÁS.....</b>	<b>206</b>
11.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	206
11.2	TOPOLOGÍA DE RED PETROBRÁS .....	207

11.3	PROPUESTA DE MONITOREO A LOS SERVIDORES REMOTOS EN TIEMPO REAL.	207
11.3.1	<i>Servidores:</i> .....	207
11.3.2	<i>Base de Datos:</i> .....	209
11.3.3	<i>Interfaz de Usuario:</i> .....	210
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>214</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>216</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>217</b>

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Bombeo Mecánico.....	23
Figura 2. Bombas de cavidad progresiva.....	24
Figura 3. Bombeo Electrosumergible.....	25
Figura 4. Bombeo por GasLift.....	27
Figura 5. Pirámide de un sistema SCADA.....	33
Figura 6. Sensor Adaptador SSM para Revestidor o Tubería.....	36
Figura 7. Adaptador SSM para Revestidor o Tubería.....	38
Figura 8. Sensor de fibra óptica.....	39
Figura 9. Vista frontal del medidor multifasico de flujo.....	44
Figura 10. Sensor óptico de temperatura.....	48
Figura 11. Variador de Velocidad.....	49
Figura 12. Corriente del motor vs. Velocidad.....	51
Figura 13. PAR vs. Velocidad del motor.....	52
Figura 14. Unidad Terminal Remota.....	55
Figura 15. Tarjeta Modbus.....	56
Figura 16. Controlador Lógico Programable.....	60
Figura 17. Esquema de un sistema de Comunicaciones.....	62
Figura 18. Modelo Básico de un Sistema de Comunicación.....	64
Figura 19. Diagrama de conectividad de comunicación.....	64
Figura 20. Medios de Transmisión.....	65
Figura 21. Par Trenzado.....	66
Figura 22. Cable Coaxial.....	67
Figura 23. Fibra óptica.....	67
Figura 24. Enlace de comunicación vía radio.....	69
Figura 25. Enlace típico por satélite.....	74
Figura 26. Puerto RS-232.....	78
Figura 27. Puerto RS-485.....	79
Figura 28. Hart.....	81
Figura 29. Profibus.....	82
Figura 30. Fieldbus.....	83
Figura 31. BITBUS.....	86
Figura 32. MODBUS.....	88
Figura 33. Codificación de datos en MODBUS.....	90
Figura 34. Principio de conmutación de paquetes.....	92
Figura 35. Red LAN.....	93
Figura 36. Red MAN.....	93
Figura 37. Red WAN.....	94
Figura 38. Red Internet.....	95
Figura 39. Red Inalámbrica.....	95
Figura 40. Modelo OSI.....	97
Figura 41. Modelo DoD.....	98
Figura 42. Red en bus.....	99
Figura 43. Red en estrella.....	100
Figura 44. Red en anillo.....	101
Figura 45. Red en árbol.....	102
Figura 46. Red en malla.....	103

Figura 47. TOKEN BUS .....	109
Figura 48. Instalación Industrial .....	111
Figura 49. Red Industrial .....	111
Figura 50. Conexiones de dos secciones de red .....	112
Figura 51. Repetidor .....	113
Figura 52. Gateway .....	113
Figura 53. Topología de red industrial .....	114
Figura 54. Red industrial con PLC.....	115
Figura 55. Diagrama de radiación de una antena.....	118
Figura 56. Antena Direccional.....	118
Figura 57. Antena Omnidireccional .....	119
Figura 58. Antena Microondas .....	120
Figura 59. Antena Satelital.....	121
Figura 60. Sistema Repetidor.....	122
Figura 61. Graficación de Tendencias.....	127
Figura 62. Historicos .....	128
Figura 63. Sistema de Alarmas.....	129
Figura 64. Modulo de Configuracion .....	130
Figura 65. Modulo interfaz grafico del operador.....	130
Figura 66. Modulo de proceso .....	131
Figura 67. Modulo de gestion y archivo de datos .....	131
Figura 68. Modulo de comunicaciones .....	132
Figura 69. Absorción de una onda de radio.....	139
Figura 70. Reflexión de una onda.....	140
Figura 71. Refacción de ondas .....	141
Figura 72. Reflexión interna total.....	141
Figura 73. Atenuación por lluvia para distintas frecuencias.....	143
Figura 74. Atenuación por niebla en función de la frecuencia.....	144
Figura 75. Atenuación por gases en función de la frecuencia.....	144
Figura 76. Situación típica de obstrucción/dispersión por vegetación.....	145
Figura 77. Funciones de densidad y de distribución de Rayleigh.....	146
Figura 78. Circuito simplificado y equivalente de una antena.....	152
Figura 79. Vista frontal de la caseta.....	166
Figura 80. Vista trasera de la caseta .....	166
Figura 81. Vista lateral de la caseta .....	167
Figura 82. Esquema interno de la RTU .....	167
Figura 83. Ubicación de la RTU dentro de la caseta.....	168
Figura 84. Ubicación de dos RTUs en la caseta.....	168
Figura 85. Esquema del monitoreo en Campo.....	169
Figura 86. Conexión entre el Maestro y los Variadores.....	170
Figura 87. Espacio del mensaje.....	171
Figura 88. Proceso que realiza el monitoreo .....	172
Figura 89. Transmisión/Recepción de unidad repetidora.....	173
Figura 90. Componentes de la RTU.....	174
Figura 91. Montaje de elementos sobre bandeja.....	175
Figura 92. Acople de bandeja en gabinete metálico .....	175
Figura 93. Pruebas con variadores .....	177
Figura 94. Pruebas del programa para variadores Yaskawa.....	177

Figura 95. Instalación de soporte metálico .....	179
Figura 96. Ajuste de RTU y líneas de transmisión.....	179
Figura 97. Montaje de gabinete metálico sobre soporte.....	180
Figura 98. Montaje de dos gabinetes sobre soporte metálico .....	180
Figura 99. Instalación de la línea de transmisión.....	181
Figura 100. Montaje de antenas.....	181
Figura 101. Instalación de antenas en centro de control.....	182
Figura 102. HMI Campo Río Ceibas .....	183
Figura 103. HMI de las señales monitoreadas.....	184
Figura 104. Ubicación de los pozos geográficamente .....	187
Figura 105. Cálculo de Azimut entre Isla I y Repetidor Isla H .....	188
Figura 106. Perfil topográfico Isla I – Repetidor Isla H.....	190
Figura 107. Cálculo de Azimut entre Repetidor Isla H y Centro de Control ....	192
Figura 108. Perfil Topográfico Repetidor Isla H – Centro de Control .....	193
Figura 109. Perfil Topográfico Isla I – Repetidor Isla H – Centro de Control ...	194
Figura 110. Mapa estación Río ceibas .....	195
Figura 111. Propiedades de la Unidad .....	196
Figura 112. Mapa de unidades en 2D.....	196
Figura 113. Mapa de unidades en 3D.....	197
Figura 114. Parámetros de red .....	198
Figura 115. Parámetros de red .....	199
Figura 116. Red de enlace en 3D.....	199
Figura 117. Red de enlace en 2D.....	200
Figura 118. Transmisión sin línea de vista.....	201
Figura 119. Grafica de RMPATH sin línea de vista.....	201
Figura 120. Enlace con línea de vista.....	202
Figura 121. Grafica con la herramienta RMPATH .....	202
Figura 122. Herramienta de enlace de radio .....	203
Figura 123. Lóbulo de antena Yagui .....	204
Figura 124. Lóbulo de antena Omnidireccional.....	204
Figura 125. Curvas de nivel en 3D .....	205
Figura 126. Curvas de nivel en 2D .....	205
Figura 127. Topología de Red.....	207
Figura 128. Interfaz de Variables.....	210
Figura 129. Interfaz de Tablas .....	211
Figura 130. Interfaz de Grafico .....	212

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de encerramientos NEMA .....	60
Tabla 2. Bandas de frecuencias de Microondas .....	72
Tabla 3. Modelo OSI .....	96
Tabla 4 Estandares de redes de area local .....	109
Tabla 5 Pérdidas de propagación a 30 GHz.....	147
Tabla 6. Tipos de Variadores .....	162
Tabla 7. Características de Variadores .....	163
Tabla 8. Datos Geograficos de cada isla. ....	164

## TABLA DE ANEXOS

Anexo A. Marcas de Variadores.....	219
Anexo B. Ejemplo de Unidad Terminal Remota.....	220
Anexo C. Datasheet Moscad L de Motorola.....	221
Anexo D. Datasheet Radio EM200 De Motorola.....	222
Anexo E. Datasheet Antena Yagui.....	223
Anexo F. Datasheet Antena Omnidireccional.....	224
Anexo G. Datasheet Factory Link.....	225
Anexo H. Mapa de Ruta de pozos.....	226

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA SCADA PARA POZOS PETROLEROS DE LA EMPRESA PETROBRÁS.

**AUTORES:** Javier Mauricio Ortiz Martínez  
José Luis Salazar Pineda

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** Francisco Javier Dietes Cárdenas

### RESUMEN

Los sistemas de monitoreo remoto en la industria petrolera se han estado implementando como una tecnología eficiente que ofrece beneficios en la producción, como también en el tiempo de vida de los equipos involucrados en la extracción de crudo, ya que en los procesos de extracción de petróleo se pueden presentar inconvenientes, como la pérdida de producción generada por paradas de pozos; por tal motivo las empresas petroleras como Petrobrás están implementando proyectos para prevenir estos inconvenientes.

Este proyecto nace gracias a la interventoría del proyecto de monitoreo de pozos remoto realizado en la empresa Petrobrás, en el cual se aplica métodos investigativos de extracción de crudo, componentes de un sistema SCADA, sistemas de radio enlace y propagación de onda, para ser utilizados en la toma de decisiones y así obtener excelentes resultados en la elaboración y el seguimiento del proyecto, además de esto, se amplía la visión para generar nuevas ideas que sirvan para aumentar el alcance del proyecto.

También se estudiaron y desarrollaron dos métodos para la elaboración de perfiles topográficos y de esta manera ofrecerle al lector una explicación clara del manejo de cada uno de estos.

En el proyecto de monitoreo de pozos se realiza la viabilidad, ejecución, seguimiento e instalación de algunos equipos electrónicos y así poder encontrar y solucionar los posibles inconvenientes que retracen o detengan el desarrollo de este.

**PALABRAS CLAVES:** Métodos de extracción, Automatización, SCADA, Perfil topográfico, RTU, interventoría.

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ESTADO DEL ARTE DEL SISTEMA SCADA PARA POZOS PETROLEROS DE LA EMPRESA PETROBRÁS.

**AUTORES:** Javier Mauricio Ortiz Martínez  
José Luis Salazar Pineda

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** Francisco Javier Dietes Cárdenas

### RESUMEN

The systems of remote monitoring in the oil industry have had been implementing like an efficient technology that offers benefits in the production, like also in the time of life of the equipment involved in the extraction of crude, since in the processes of petroleum extraction disadvantages can be displayed, like lost of production generated by well shutdowns; by such reason the oil companies as Petrobra's are implementing projects to prevent these disadvantages.

This project is born thanks to the interventory of the project of remote monitoring of wells made in the Petrobra's company, in which it is applied investigative methods of extraction of crude, component of a SCADA system, radio systems it connects and propagation of wave, to be used in the decision making and thus to obtain excellent results in the elaboration and the pursuit of the project, in addition to this, ample the vision to be generated new ideas that serve in order to increase the reach of the project.

Also two methods for the elaboration of topographic profiles and this way studied and developed to offer to the reader a clear explanation to the readers of the handling of each one of these. In the project of monitoring of wells the viability is made, execution, pursuit and installation of some electronic equipment and thus to be able to find and to solve the possible disadvantages that put back in the time or stop the development of this.

**PALABRAS CLAVES:** methods of extraction, Automation, SCADA, topographic profile, Remote Terminal Unit (RTU), interventory.

## INTRODUCCIÓN

Las exploraciones petroleras iniciaron hace más de cien años, cuando las perforaciones se efectuaban cerca de filtraciones de petróleo; las cuales indicaban que el petróleo se encontraba bajo la superficie. Hoy día, se utilizan técnicas sofisticadas, como mediciones sísmicas, de microorganismos e imágenes de satélite. Potentes computadoras asisten a los geólogos para interpretar sus descubrimientos. Pero, finalmente, sólo la perforadora puede determinar si existe o no petróleo bajo la superficie.

La vida sin el petróleo no podría ser como la conocemos. Del crudo obtenemos gasolina y diesel para nuestros autos y autobuses, combustible para barcos y aviones. Lo usamos para generar electricidad, obtener energía calorífica para fábricas, hospitales y oficinas y diversos lubricantes para maquinaria y vehículos. La Industria Petroquímica usa productos derivados de él para hacer plásticos, fibras sintéticas, detergentes, medicinas, conservadores de alimentos, hules y agroquímicos.

Por esto la gran importancia del petróleo, pero lo más importante aun es aprovechar este hidrocarburo al máximo ya que la demanda es muy alta, en esto trabajan las Petroleras del mundo, para aprovechar al máximo este recurso no renovable ya que va desapareciendo cada vez que se utiliza.

Petrobrás, como multinacional petrolera sabe la importancia de esto, por tal motivo en el transcurso de los años ha creado un sinnúmero de proyectos para aprovechar al máximo su extracción.

Petrobrás en Colombia se ha dedicado a dirigir estos proyectos de tal forma que el crudo explotado sea lo mas útil posible.

Esta multinacional en su afán de mejorar la explotación de crudo esta implementando tecnología en sus campos productores, de esta manera surge

la necesidad de automatizar sus pozos haciendo un monitoreo remoto de estos.

Este libro posee información de los componentes requeridos para la elaboración de un sistema de automatización industrial, con algunas marcas que se encuentran en el mercado; así como los conceptos básicos del petróleo y sus métodos de extracción.

También contiene la gestión del proyecto de monitoreo de pozos extractores de crudo en uno de los campos productores de Petrobrás en Colombia.

# **1 OBJETIVOS**

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un estado del arte del sistema SCADA aplicado a la automatización de redes industriales proyectadas en Petrobrás para el Campo Santiago (Casanare).

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Analizar el proceso de instrumentación electrónica efectuada entre los sensores del pozo petrolero y el variador de velocidad.

Estudiar las redes industriales, protocolos y normatividad aplicadas en los campos petroleros.

Investigar y comparar los aspectos técnicos (hardware y software) y económicos del sistema de automatización SCADA aplicados en la industria petrolera.

Elaborar un estudio de campo donde se incluya modelo de propagación y cálculo de enlace en los sistemas radiantes que hacen parte de SCADA.

Proponer una solución para integrar los resultados obtenidos del sistema SCADA con las redes Ethernet (LAN, WAN).

## **2 CONCEPTO BÁSICO DE UN POZO DE PETRÓLEO**

Para interpretar este trabajo es importante tener una comprensión básica de cómo se procede en la industria petrolera y cuáles son las herramientas de uso hoy en día. Sin entrar en detalles excesivamente técnicos, que se dejarán a los especialistas, se describen los principales métodos de extracción. Esto nos permitirá comprender las soluciones posibles a los problemas encontrados en las actuales operaciones.

El petróleo se encuentra en el subsuelo contenido en rocas madre. Al hablar de reservorio o reservatorio, nos imaginamos una especie de tanque en el cual el petróleo y el gas se encuentran almacenados.

La realidad es diferente. Ese reservorio es en general alguna roca porosa de tipo arcilloso o arena. No es un gran agujero vacío. Al realizar las tareas de prospección geológica (previas a cualquier decisión de perforación) lo que se intenta es buscar este tipo de formaciones que son aptas para la contención de los hidrocarburos.

Se utilizan para este fin tecnologías de rebote de ondas. Los equipos de geólogos trabajan en forma indirecta para comprender el subsuelo, ya que no es posible realizar una perforación cada vez que se desee explorar, por el costo que esta implica, se delimitan en el terreno grillas virtuales en las que se colocan pequeñas cargas explosivas en conjunto con sensores receptores de vibración distribuidos en forma geométrica, al detonar las cargas, los receptores pueden en conjunto con sofisticados equipos electrónicos, inferir la estructura del subsuelo.

La absorción de las ondas mecánicas generadas por la explosión son diferentes según la estructura de los diferentes estratos de roca subterránea. Esto permite hacer un mapa tridimensional y ubicar los estratos más favorables para intentar la explotación.

Si se considera que el potencial es bueno, se procede a la perforación pero no siempre el pozo es productivo ya que estos métodos aún hoy carecen de eficiencia para determinar qué es lo que hay dentro de la roca madre.

Podemos encontrar petróleo, gas, ya sea natural o carbónico (CO<sub>2</sub>), agua, una mezcla total o parcial o nada.

Asumiendo que el pozo exploratorio ha encontrado hidrocarburos y que la extracción del mismo es factible y económicamente rentable, se procede a instalar los equipos de producción. Un pozo petrolero clásico consta de dos tuberías concéntricas de diferente diámetro.

Una vez perforado el pozo, los equipos de terminación (así se llama a los equipos especializados en dejar el pozo nuevo listo para producción) instalan una tubería que tiene el mismo diámetro del pozo y actúa para contenerlo y que no se derrumbe. Esta tubería se llama Casing, precisamente por encapsular al pozo.

Posteriormente se realiza el fracturado del pozo a la altura de la formación geológica que contiene el petróleo para permitir el acceso del mismo al espacio interno del casing. Básicamente esto consiste en utilizar un herramental especial que abre orificios en la pared del mismo de manera controlada. Estos pueden ser realizados en diferentes profundidades ya que a lo largo del pozo es posible encontrar varios estratos con petróleo.

La segunda fase es la colocación de una tubería interna de menor diámetro que se va descendiendo por dentro del casing. A esta tubería se la llama "Tubing" y será la encargada de transportar el hidrocarburo hacia la superficie.

En paralelo con esta operación se instalan los sistemas de bombeo y sellado si fueran necesarios.

Como último paso y para cerrar el pozo, se coloca una cabeza y un colgador cuya función es la de sellar el espacio anular entre tubing y casing y proveer un paso controlado para el petróleo que sale. A partir de allí es tarea del área de transporte del yacimiento. El hidrocarburo será llevado hasta los puntos de refinación primaria a través de oleoductos o se enviará a tanques batería para desde allí ser transportado por camión tanque hasta las bases de proceso.

## **2.1 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN / BOMBEO**

### ***2.1.1 Bombeo Mecánico (MP Mechanical Pumping)***

Es el sistema más reconocido de bombeo. Utiliza un movimiento vertical transmitido por contrapesos y un brazo mecánico que sube y baja.

La bomba en sí misma se encuentra en el fondo y se le transmite el movimiento a través de varillas que hacen su recorrido por dentro del tubing.

Al descender, la válvula inferior se cierra y el pistón de la bomba baja llenándose de petróleo. Al subir, la válvula inferior se abre y mientras el pistón jala el petróleo que tiene dentro hacia arriba, a la vez llena la parte inferior por succión con una nueva carga que posteriormente elevará. Así opera en forma alternativa o batch.

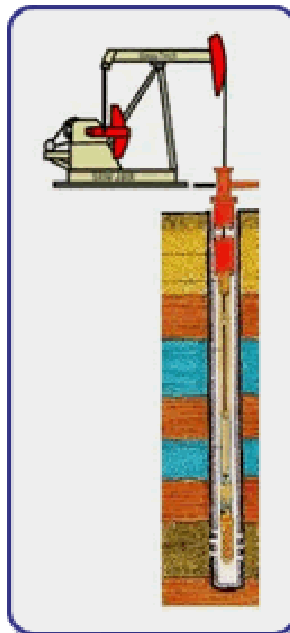
Dado el gran brazo de torque que tienen, son el tipo de bomba preferido en caso de tener que generar grandes presiones.

La motorización puede ser eléctrica o con motor a explosión. Este es un método muy difundido en nuestro país y uno de los más antiguos. Fue de

hecho el primer sistema artificial de bombeo. Los equipos actuales poco tienen que ver con sus antecesores desde el punto de vista estructural, pero el concepto operativo es idéntico.

No es el más económico ni en su costo inicial ni operativo ya que poseen una estructura relativamente grande en la superficie y esto unido a la inclemencia del clima, implica un mantenimiento importante para asegurar su funcionamiento.

**Figura 1. Bombeo Mecánico**



**Fuente. <http://www.imeconet.com>, Octubre 2007**

### **2.1.2 Bombas de Cavidades Progresivas o PCP (Progressing Cavity Puma)**

Este sistema es muy simple y económico. La instalación de superficie es considerablemente menor que la de un bombeo mecánico, pero tiene limitaciones en cuanto a la presión que puede generar y esto va en línea directa con la capacidad de producción.

Operan como un tornillo. La bomba está en el fondo del pozo, y es comparable con un tornillo gigante recubierto por un polímero muy duro. La fuerza motriz la entrega un motor en la superficie (eléctrico o a explosión). La transmisión es realizada por un eje de varillas, similar al de las bombas mecánicas, pero en este caso, el movimiento es rotante lo cual disminuye mucho el desgaste por rozamiento de las mismas.

Es el método preferido en el caso de no tener grandes presiones o en caso de tener intrusiones de arena ya que las bombas pueden operar sin destruirse en sus partes mecánicas ni tener un desgaste excesivo.

Es un sistema bastante nuevo originado en Canadá. Su costo inicial y operativo es muy bueno, pero tienen, como mencionamos anteriormente, algunas limitaciones de aplicabilidad que impiden que se difunda en forma masiva. A pesar de ello, su utilización está creciendo rápidamente en nuestro país.

**Figura 2. Bombas de cavidad progresiva**



**Fuente. <http://www.flygt.es>, Octubre 2007**

### ***2.1.3 Bombeo electrosumergible o ESP (Electrical Submersible Pumps)***

Es un sistema intermedio entre los dos anteriores. Se basa en el principio de centrifugación de fluidos. Un rotante gira a alta velocidad y expulsa el fluido hacia la periferia del rotor donde es ingresado en una tubería que lo descarga. Este tipo de bombas tienen diferentes estadios de centrifugación. Es decir, no

es un solo rotor sino que son varios colocados en forma sucesiva uno sobre el otro y alimentándose entre ellos para ganar mayor presión.

Su ventaja principal es que realmente no tiene casi instalaciones de superficie a excepción de un control de velocidad del motor.

La motorización es eléctrica exclusivamente y el motor se encuentra en la bomba misma al fondo del pozo.

Estas se energizan con un cable eléctrico blindado que va paralelo al tubing y que conecta la toma de potencia en la superficie con la bomba.

El motor mismo es la bomba. Su tecnología es la más complicada y cara pero son preferidas en caso de tener que elevar grandes caudales. La desventaja es que son difíciles de instalar y su energización no siempre es altamente confiable.

En cuanto al costo de instalación, es el más alto, pero el mantenimiento de superficie es mínimo y limitado a los componentes electrónicos de los variadores de velocidad y protecciones eléctricas.

**Figura 3. Bombeo Electrosumergible**



**Fuente. <http://www.imeconet.com>, Octubre 2007**

#### **2.1.4 Ascenso por inyección de gas o gaslift**

Este método es en apariencia muy sencillo ya que implica la inexistencia de bombas o equipos móviles.

Se basa en presurizar el anular entre tubing y casing con algún gas (puede ser gas natural o CO<sub>2</sub> (gas carbónico) y hacerlo pasar al tubing a través de pequeñas válvulas.

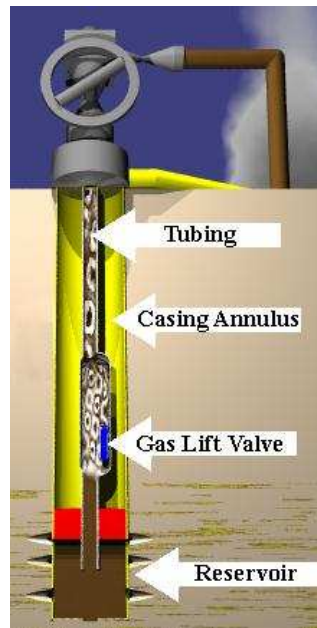
Las burbujas generadas al expandirse harán ascender el fluido a la superficie arrastrándolo en bloques.

La presurización puede ser artificial (desde la superficie) o natural, aprovechando la existencia de gas en alguna capa intermedia.

La desventaja que tiene es que está muy limitado por las variables del pozo y en general no alcanza producciones muy elevadas.

A pesar de su aparente simplicidad, es muy complejo de diseñar y un cambio en las variables del pozo, como por ejemplo que se modifique el porcentaje de agua o la presión del gas (ya sea del utilizado para el gas lift o del mismo reservorio), puede desembocar en una falla del sistema que se manifestará por la interrupción de la producción de petróleo y un surgimiento de la producción de gas solamente que es difícil de revertir.

Figura 4. Bombeo por GasLift



Fuente. <http://content.answers.com>, Octubre 2007

## 2.2 COMPONENTES SUPERFICIALES

### 2.2.1 Bola Colgadora

Este dispositivo se coloca en un nido sobre el árbol de válvulas. Su función es sostener la tubería de producción, permitir su paso y el de los tres conductores del cable, proporcionando el sello necesario en el espacio anular entre tubería de producción y de revestimiento para evitar fuga de fluidos a la superficie. Está construida de acero, cubierta de neopreno. En el caso de instalaciones marinas el paso de los conductores del cable, lo tiene integrado y su contacto es como el de la mufa<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Mufa: accesorio metálico para la entrada de servicio de acometida eléctrica o de datos, la cual consiste de una entrada con las protecciones para que no entre el agua o polvo

### **2.2.2 Caja de viento**

Se instala por razones de seguridad entre el cabezal del pozo y el tablero de control, debido a que el gas puede viajar a lo largo del cable superficial y alcanzar la instalación eléctrica en el tablero. En la caja de viento o de unión, los conductores del cable quedan expuestos a la atmósfera evitando esa posibilidad.

### **2.2.3 Tablero de control**

Es el componente desde el que se gobierna la operación del aparejo de producción en el fondo del pozo. Dependiendo de la calidad de control que se desea tener, se seleccionan los dispositivos que sean necesarios para integrarlos al tablero. Este puede ser sumamente sencillo y contener únicamente un botón de arranque y un fusible de protección por sobre carga; o bien puede contener fusibles de desconexión por sobrecarga y baja carga, mecanismos de relojería para restablecimiento automático y operación intermitente, protectores de represionamiento de líneas, luces indicadores de la causa de paro, amperímetro, y otros dispositivos para control remoto, los tipos de tablero existentes son electromecánicos o bien totalmente transistorizados y compactos.

### **2.2.4 Transformador**

Este componente se utiliza para elevar el voltaje de la línea al voltaje requerido en la superficie para alimentar al motor en el fondo del pozo; algunos están equipados con interruptores "taps" que les dan mayor flexibilidad de operación. Se puede utilizar un solo transformador trifásico o un conjunto de tres transformadores monofásicos.

### **2.2.5 Accesorios**

Con el propósito de asegurar una mejor operación del equipo es necesario contar con algunos accesorios.

### **2.2.6 Válvula de contra presión**

Se coloca de una a tres líneas de tubería por arriba de la bomba. Esta válvula permite el flujo en sentido ascendente, de manera que cuando el motor deja de trabajar, impide el regreso de la columna de fluidos y evita el giro de la flecha de la bomba en sentido contrario, lo cual la dañaría.

### **2.2.7 Válvula de drene**

Se coloca de una a tres líneas por arriba de la válvula de contra presión. Su función es establecer comunicación entre el espacio anular y la tubería de producción, con el propósito de que ésta se vacíe cuando se extrae el aparejo del pozo. Para operarla, se deja caer una barra de acero desde la superficie por la tubería de producción; la barra rompe un perno y deja abierto un orificio de comunicación con el espacio anular.

### **2.2.8 Controlador de velocidad variable**

Este dispositivo puede ser considerado como equipo accesorio u opcional, únicamente bajo ciertas circunstancias que impone el mismo pozo. Eventualmente la información disponible para efectuar un diseño no es del todo confiable y como consecuencia se obtiene una instalación que no opera adecuadamente; anteriormente la alternativa sería rediseñar e instalar un nuevo aparejo, debido a que el sistema de bombeo eléctrico trabaja a velocidad constante para un mismo ciclaje. En otros casos, algunos pozos son dinámicos en cuanto a parámetros de presión de fondo, producción, relación gas-aceite y otros para los cuales no es recomendable la operación de un aparejo con velocidad constante. Lo anteriormente expuesto limita la aplicación del sistema a pozos estables donde el número de etapas de la bomba, sus dimensiones y velocidad podrían ser constantes.

El controlador de velocidad variable permite alterar la frecuencia del voltaje que alimenta al motor y por lo tanto modificar su velocidad. El rango de ajuste de la frecuencia es de 30 a 90 Hz, lo que implica su amplio rango de velocidades y

por lo tanto de gastos que es posible manejar. Una alta frecuencia incrementa la velocidad y el gasto; una baja frecuencia, los disminuye.

Otros accesorios pueden ser los sensores de presión y de temperatura de fondo, cajas protectores para transporte del equipo, etc.

La integración de todos los componentes descritos es indispensable, ya que cada uno ejecuta una función esencial en el sistema, para obtener en la superficie el gasto de líquido deseado, manteniendo la presión necesaria en la boca del pozo.

## **3 SISTEMA SCADA**

### **3.1 GENERALIDADES DE UN SISTEMA SCADA**

#### **3.1.1 Concepto básico del sistema SCADA**

Usualmente cuando un sistema se encarga solamente de recolectar datos de medición desde un sitio lejano o remoto para su análisis, a este se le denomina tele medición o telemetría; pero cuando su función se amplía a la supervisión y control a este sistema se le denomina SCADA.

La palabra SCADA es una abreviación del término en ingles “Supervisory Control And Data Adquisition” que significa Control Supervisorio y Adquisición de Datos.

#### **3.1.2 Justificación de un sistema SCADA**

“La herramienta mas poderosa que tiene el hombre en la actualidad es la información. Esta debe ser oportuna, clara y confiable. Del correcto manejo de la misma depende ahora el rendimiento, productividad y permanencia de las empresas e industrias del mundo moderno”.<sup>2</sup>

Un sistema SCADA puede ser aplicado a empresas o industrias tales como acueductos, oleoductos, gasoductos o cualquier tipo de proceso industrial en donde los procesos y variables se generen en diferentes sitios distantes de la persona o personas que deben tomar y manejar los datos y/o las decisiones en forma rápida y segura.

---

<sup>2</sup> Delgado Reyes, Miguel Ángel. Practica empresarial empresa colombiana de gas, pag 21

Gracias a los adelantos tecnológicos en las telecomunicaciones y computadores, ha sido posible desarrollar sistemas que permiten el monitoreo de estaciones remotas a cientos o miles de kilómetros de un determinado centro de control que puede supervisar y controlar ciertos procesos.

### **3.1.3 Funciones de un sistema SCADA**

En general las funciones de un sistema SCADA deben ser las siguientes:

- Adquisición de datos en tiempo real.
- Reporte en tiempo real de las variables físicas del sistema.
- Perfil real de variables del proceso.
- Modelamiento en tiempo real del proceso.
- Análisis predictivo y de tiempo de supervisión del sistema.
- Planeamiento de la operación.
- Confiabilidad en la medición.
- Almacenamiento de datos históricos.
- Análisis y funcionamiento de los instrumentos de campo.
- Alarmas y detección de problemas.

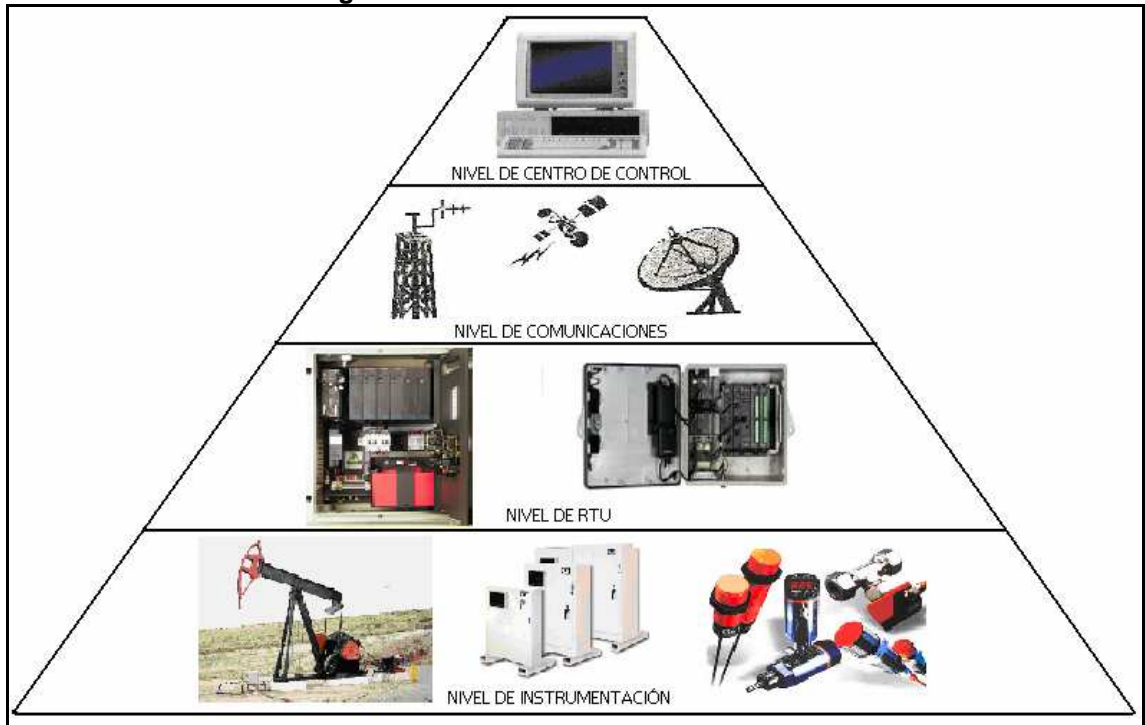
### **3.1.4 Seguridad de un sistema SCADA**

Estos sistemas permiten observar y verificar continuamente las variables críticas de operación de un proceso tales como presión, temperatura, alarmas, etc. De esta forma los operadores de turno pueden permanentemente revisar y verificar las operaciones del sistema pudiendo tomar las acciones correctivas del caso con suficiente anterioridad y prevenir cualquier incidente.

### 3.2 Niveles del sistema SCADA

Un sistema SCADA básico consta de cuatro niveles principales tal como se ilustra en la pirámide del sistema SCADA.

Figura 5. Pirámide de un sistema SCADA



Fuente. Autor

## **4 NIVEL DE INSTRUMENTACIÓN**

Este nivel toma la variable física (presión, flujo, temperatura, etc.) y la convierte en una señal que puede ser leída o interpretada por el operador (por ejemplo el desplazamiento de una aguja, un contador, etc.).

Para el caso específico de un sistema SCADA se maneja la instrumentación de tipo electrónico, allí la variable física se convierte en una señal eléctrica (usualmente de corriente de 4-20 mA o de voltaje de 1-5 Voltios).

Para un pozo petrolero las señales básicas a transmitir son, presión, temperatura, flujo y variables de control de las bombas de succión como la corriente y la frecuencia del motor, empleándose para ello dispositivos electrónicos de los cuales podemos mencionar los siguientes:

- Trasmisores de presión
- Trasmisores de temperatura.
- Trasmisores de flujo.
- Variadores de velocidad.

### **4.1 Descripción de los Sensores**

El ambiente de fondo de pozo es muy estresante para los sensores. Los siguientes requerimientos básicos fueron usados durante el desarrollo de los Sensores Análogos y Digitales de Presión / Temperatura de manera de asegurar un dato confiable:

- Amplio rango de temperatura operativa – Debe ser capaz de funcionar tanto en superficie como en fondo de pozo.

- Amplia señal de salida en el Transductor – Simplifica el procesamiento y minimiza el efecto de los errores de circuitos de medición.
- Repetibilidad – Bajo ciclos de presión y temperatura, la salida del sensor para condiciones dadas de entrada debería ser la misma cada vez que dichas condiciones son aplicadas.
- Estabilidad – Bajo presión y temperatura constantes, la salida del transductor no debería cambiar.
- Resistente a choque mecánica y vibración – Errores mínimos durante la operación y ninguna degradación a largo plazo.
- Resistente a gases y líquidos producidos o colocados en fondo de pozo, ya sea de ocurrencia natural (CO<sub>2</sub>, agua salada, H<sub>2</sub>S) o por tratamiento de pozo (ácidos, álcalis).

#### **4.1.1 Transductor**

El diseño incorpora un transductor piezo-resistivo que incluye un diafragma tipo Silicio-sobre-Aislante. Un chip de silicio (aprox. 0.1 pulgadas cuadradas) es micro-mecanizado con una cavidad en la cara inferior para formar un diafragma sensor de presión. La profundidad de la cavidad determina el rango de presión. Cuatro resistencias son fusionadas en la superficie, ubicadas de manera que cuando dos están bajo compresión las otras dos están en tensión. Los diafragmas son fabricados en cantidad sobre obleas usando métodos de producción de circuitos integrados. El sensor se hace cuando el diafragma es fusionado con un substrato de silicio.

#### **4.1.2 Sensor Digital Mono-Punto**

La circuitería electrónica del Sensor Digital Mono-Punto transmite una salida de onda cuadrada y pulso por corriente sobre la corriente de suministro de los sensores (el mismo conductor para potencia y señal). La onda cuadrada es contada y procesada para generar los parámetros muestreados de fondo de pozo, presión y temperatura.

El dato es procesado con coeficientes generados a partir de un proceso de calibración realizado en las instalaciones de manufactura y prueba. Las pruebas de calibración y verificación aseguran que el sensor cumpla con las especificaciones de precisión determinadas para el diseño.

### **Soluciones de Sensores Digitales Mono-Punto**

**Figura 6. Sensor Adaptador SSM para Revestidor o Tubería**



**Fuente. <http://www.ep-solutions.com>, Enero 2007**

### **4.2 SENSOR DIGITAL MULTI-PUNTO**

El Sensor Digital Multi-Punto transmite un protocolo propietario cuando es contactado. El uso de un esquema direccionable permite que múltiples sensores digitales se comuniquen y energicen a través de la misma línea mono-conductora. Además de transmitir el dato tanto de presión como de temperatura, el monitoreo continuo del voltaje del sensor permite un diagnóstico básico de la integridad del cable durante la vida útil del sistema instalado.

Similar al Sensor Digital Mono-Punto, el dato se procesa con coeficientes generados a partir de un proceso de calibración ejecutado en las instalaciones de manufactura y prueba. Las pruebas de calibración y verificación aseguran que los sensores cumplan con las especificaciones determinadas para el diseño.

#### **4.2.1 Longevidad del Sensor Digital Multi-Punto**

La longevidad operativa del sensor ha sido muy bien comprobada con la tecnología de sensores. La expectativa de vida general del sistema desplegado depende de muchas condiciones ambientales, de manejo y del pozo. Han considerado y permitido la siempre cambiante condición imprevisible de la aplicación específica incorporando las siguientes directrices de diseño.

##### **Amplio Rango Operativo de Temperatura**

El sensor es capaz de operar a varios grados de condiciones tanto de superficie como de fondo de pozo.

##### **Repetibilidad**

La salida del sensor, bajo ciclos de presión y temperatura de condiciones dadas de entrada, es la misma cada vez que se aplican las condiciones de entrada.

##### **Estabilidad**

Bajo presión y temperatura constantes, la salida del transductor no cambia.

##### **Resistencia a Choque Mecánico y Vibración**

El sensor produce errores mínimos durante su operación y no sufre de degradación a largo plazo.

#### **4.2.2 Resistencia a Gases y Líquidos Producidos o Inyectados en Pozo**

El sensor es resistente a gases y líquidos producidos o inyectados en fondo de pozo, ya sean de ocurrencia natural (CO<sub>2</sub>, agua salada, H<sub>2</sub>S) o a partir de tratamientos de inyección en pozo (ácidos, álcalis).

Una serie exhaustiva de pruebas de tensión ambiental asegura que los más estrictos criterios de choque térmico, choque mecánico y envejecimiento térmico se han cumplido.

### 4.3 FUNDAMENTOS OPERATIVOS DEL SENSOR DIGITAL MULTI-PUNTO

El transductor piezo-resistivo convierte la presión en cambios de resistencia. La tensión de presión aplicada se mide a lo largo de un puente resistivo activo de cuatro hilos. La temperatura también se mide desde un secundario del puente principal.

El propósito de la medición de temperatura es compensar cualquier error inducido por temperaturas de la salida del transductor de presión.

El diseño incorpora un mínimo de componentes electrónicos, los cuales a su vez disminuyen la tasa de mortalidad temprana comúnmente experimentada en otros diseños.

#### 4.3.1 Transmisión de Señal en el Sensor Digital Multi-Punto

El sensor digital, usando un protocolo propietario, retorna una señal cuando es contactado con la ID apropiada. El uso de un esquema direccionable permite que múltiples sensores digitales se comuniquen y energicen a través de la misma línea mono-conductora. Además de transmitir dato tanto de presión como de temperatura, el monitoreo continuo del voltaje del sensor permite un diagnóstico básico de la integridad del cable durante la vida útil del sistema instalado.

#### 4.3.2 Soluciones del Sensor Digital Multi-Punto

Figura 7. Adaptador SSM para Revestidor o Tubería



Fuente. <http://www.ep-solutions.com>, Enero 2007

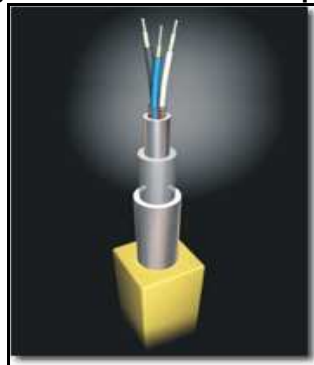
#### 4.4 SISTEMA ÓPTICO DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA DISTRIBUIDA

El sistema óptico de medición de temperatura distribuida (DTS) está diseñado para ofrecer una determinación absoluta de perfil de temperatura típicamente a través de un intervalo de producción en un pozo (o a lo largo del pozo en donde está desplegado el cable). Está disponible como un sistema de monitoreo permanente así como un servicio ad-hoc de registro de pozo cuando se requiere de caracterización de desempeño de pozo.

El sistema DTS provee mediciones continuas de temperatura a lo largo de una de las tres fibras en el cable óptico estándar para fondo de pozo. El cable puede ser instalado con o sin ningún otro sensor óptico, y el equipo de superficie puede ser instalado permanentemente o movilizado cuando se requiere de un perfil de temperatura.

El cable estándar contiene una fibra óptica multi-modo pre-calibrada para mediciones DTS, lo que permite mediciones inmediatamente después de la instalación y a lo largo de la vida útil del pozo sin re-calibración. Además, el cable incluye un sistema propietario de protección de fibra que previene el deterioro de la señal óptica experimentado en otros sistemas ópticos comerciales, asegurando mediciones DTS de alta calidad.

**Figura 8. Sensor de fibra óptica**



**Fuente. <http://www.ep-solutions.com>, Octubre 2007**

El sistema DTS es una parte integral de su sistema de instrumentación y dato en superficie, proveyendo una fuente de dato integrada con otros sistemas de medición instalador, incluyendo sensores en pozo de presión y temperatura, flujo y flujo multifásico.

### **Aplicaciones para el Sistema Óptico de Medición de Temperatura Distribuida**

- Detección de irrupción de agua o gas
- Monitoreo de desempeño de inyección de agua, vapor y gas
- Determinar tasas de fluido en pozo
- Optimización de gas-lift.
- Identificación de problemas de pozo tales como flujo detrás del revestimiento y detección de fugas, hidratos, asfáltenos y parafina
- Caracterización de aporte de producción de zonas o segmentos de pozos, incluyendo crudo, agua y gas

### **Características, Ventajas y Beneficios del Sistema Óptico de Medición de Temperatura Distribuida**

- Un mínimo número de componentes y ninguna parte móvil aseguran una operación confiable a lo largo de la vida útil del pozo.
- Los componentes dentro del pozo son simples, mientras que los componentes complejos son mantenidos a nivel de superficie, facilitando el servicio y mejorando la confiabilidad del sistema.
- Diseñado el cable óptico para pozo más duradero y resistente de la industria, el sensor provee un perfil de temperatura bajo demanda de todo el pozo para permitir la optimización de la producción.
- Diseñado para soportar condiciones severas y sin utilizar electrónica en fondo de pozo, el sensor puede funcionar en operaciones de alta temperatura.

- El sensor eléctricamente pasivo ofrece lecturas de temperatura bajo demanda, sin necesidad de correr herramientas de registro, ahorrando tiempo e incrementando la eficiencia.
- El software estándar genera registros en formato API, correctamente ubicados en profundidad y fácilmente importados dentro de paquetes de análisis de registros de producción.
- El sensor ofrece precisión y estabilidad superiores cuando se usa en conjunto con un medidor óptico de presión-temperatura en fondo de pozo, ahorrando el costo de un cable extra en pozo.
- Para una solución de monitoreo permanente, una unidad de superficie puede ser combinada con un interruptor óptico para sondear pozos múltiples en un ciclo continuo. Los registros de producción pueden ponerse a la disposición de una red de área amplia, pudiendo transmitir mensajes de alarmas por anomalías.

#### **4.5 MEDIDOR DE FLUJO MULTIFÁSICO ÓPTICO**

El medidor de flujo multifásico ofrece mediciones exactas en tiempo real de tasas de flujo de crudo, gas y agua en fondo de pozo, permitiendo así mejores decisiones de producción y gerencia de reservorio, así como una flexibilidad aumentada en las opciones de completación de pozo. Entre las aplicaciones típicas para el medidor de flujo multifásico se incluyen el monitoreo de producción bajo demanda y la asignación en completaciones mono- y multi-zonas.

La tecnología del medidor de flujo multifásico óptico se basa en una medición de velocidad de flujo y de velocidad del sonido en donde la misma es proporcional a la fracción volumétrica del crudo, agua y gas en una mezcla fluyente. El medidor de flujo se despliega como parte de la tubería de producción y se integra típicamente con uno o dos sensores ópticos de presión y temperatura con salida a la tubería y/o corona. Cada medidor de flujo está

diseñado para adecuarse a requisitos específicos de completación y está disponible en tamaños de tuberías que van desde 2-3/8 hasta 5-1/2", con otros tamaños disponibles bajo petición.

Los medidores de flujo ópticos han sido probados en campo en instalaciones que van desde pozos productores de crudo hasta pozos de gas condensado de alta tasa. También hay un medidor de flujo monofásico diseñado para asignación zonal en inyectores de agua, gas o de agua-alternando-gas (WAG).

#### ***4.5.1 Aplicaciones para el Medidor de Flujo Multifásico Óptico***

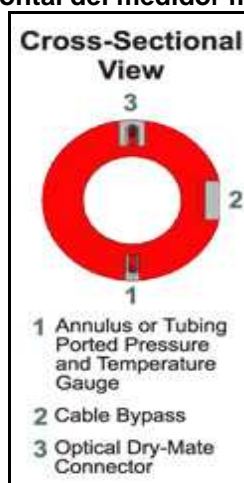
- Asignación zonal en completaciones inteligentes multi-zonas.
- Identificación y localización de anomalías de producción en tiempo real.
- Determinación directa del índice de producción de pozo.
- Reducción de las pruebas de pozo en superficie e instalaciones de superficie.
- Instalaciones submarinas con fibra en el umbilical. Hay conectores ópticos de acople húmedo para árboles tanto horizontales como verticales. El medidor de flujo óptico permite una distancia de hasta 31-mi (50-km) entre el mismo y el sistema de integración en superficie.

#### ***4.5.2 Características, Ventajas y Beneficios del Medidor de Flujo Multifásico Óptico***

- El medidor de flujo es completamente no intrusivo y permite un acceso completo por la tubería.
- El medidor de flujo es 100% óptico, sin sensores expuestos a los fluidos del pozo. Este diseño asegura alta resistencia a la erosión y corrosión, así como mediciones que no se ven afectadas por el contenido de sólidos en el flujo.
- Su bajo conteo de componentes, la ausencia de partes móviles y sus sensores pasivos hacen altamente confiable al medidor de flujo; todos los componentes complejos se ubican a nivel de superficie.

- Las mediciones del medidor de flujo no pueden derivar y ofrecen una excelente estabilidad a largo plazo.
- La medición de flujo bidireccional posibilita mediciones inter-zonales de flujo cruzado en completaciones multi-zona.
- Su diseño de diámetro completo significa que no hay pérdidas de presión fluyente.
- Su diseño robusto y resistente a choques puede soportar operaciones de perforación y de fractura hidráulica.
- El medidor de flujo es intrínsecamente seguro, sin energía eléctrica en fondo de pozo ni a nivel de cabezal.
- Múltiples sensores ópticos, incluyendo de presión y temperatura, sísmicos, de medición distribuida de temperatura (DTS) y flujo monofásico y multifásico, pueden ser combinados en un solo cable para flexibilidad de diseño de completación.
- El software del medidor de flujo puede ser configurado para medir tasas de flujo bifásicas de crudo y agua o tasas de flujo de líquido y gas.
- El software del medidor de flujo ofrece presión-volumen-temperatura (PVT) integrados para conversiones de volumen y reporta tasa de flujo en condiciones de fondo de pozo y superficie.
- El medidor de flujo se integra con el Sistema de Monitoreo de Reservorio (RMS) y ofrece numerosas opciones para interfaz, almacenamiento y análisis de dato.

Figura 9. Vista frontal del medidor multifasico de flujo



Fuente. <http://www.ep-solutions.com>, Octubre 2007

#### 4.5.3 Opciones del Medidor de Flujo Multifásico Óptico

- Sensor integrado óptico de presión y temperatura. Uno o dos sensores pueden ser conectados y comunicados a través de la corona y/o tubería. El medidor de flujo y los sensores de presión y temperatura comparten un mismo cable óptico y conector óptico sencillo de acople seco.
- Ranuras de by-pass de cable para líneas de control.

#### 4.6 SENSOR ÓPTICO DE PASO DIRECTO PARA PRESIÓN / TEMPERATURA.

Los sensores ópticos cumplen con la promesa del monitoreo permanente de reservorio para permitir mejor toma de decisiones en la gerencia de producción y reservorio. El sensor óptico de paso directo para presión/temperatura ha sido diseñado para confiabilidad durante la vida útil del campo, estabilidad sin igual y facilidad de uso en múltiples aplicaciones. El sensor óptico de paso directo para presión/temperatura permite que múltiples sensores compartan una fibra óptica común, incrementando el número de puntos de medición a lo largo del pozo. El número expandido de sensores de temperatura de paso directo

permite el despliegue de aplicaciones de monitoreo de producción de pozos inteligentes multi-zonas y reservorios.

#### **4.7 APLICACIONES PARA EL SENSOR ÓPTICO DE PASO DIRECTO.**

- Todas las aplicaciones actuales y reconocidas para sensores eléctricas:
  - Medición de presión fluyente en pozo.
  - Determinación de presión de reservorio durante cierre de pozos.
  - Dato para análisis de transitorios de presión – determinación de corteza, permeabilidad y frontera de reservorio.
  - Administración y control de rampa de producción de pozo.
  - Prueba de interferencia y determinación de conectividad de reservorio.
- Integración uniforme con otros sensores ópticos, p. ej., medidores DTS, de flujo y de fracción de fase, así como sistemas sísmicos.
- Cada una de las fibras ópticas de modo único del cable óptico en fondo de pozo puede soportar hasta tres sensores de paso directo para presión/temperatura
  - Hasta seis puntos de medición de presión/temperatura con DTS
  - Hasta nueve puntos de medición de presión/temperatura sin DTS
- Pozos submarinos en donde la confiabilidad y longevidad son cruciales

##### ***4.7.1 Características del Sensor Óptico de Paso Directo para Presión/Temperatura***

- Alta confiabilidad – mínimo conteo de componentes, sin partes móviles.
- Electrónicamente pasivo – sin electrónica en fondo de pozo.
- Alta inmunidad a subidas de presión.
- Estabilidad de medición extremadamente alta – sin deriva mensurable.
- Químicamente inerte – problemas mínimos de compatibilidad de corrosión.

- Robusto – la supervivencia contra choque mecánico y vibración más alta de la industria.
- Impronta estándar – mismo manejo e instalación que los sensores electrónicos.
- Inmune a interferencia electromagnética.
- Puntos múltiples de medición de presión/temperatura por fibra.
- Altos resultados de confiabilidad en desempeño sin igual a lo largo de la vida útil del pozo.
- Su resistencia a choques significa que no tiene problemas con operaciones de perforación o fractura hidráulica.
- Deriva inapreciable significa que no hay que preocuparse por mediciones absolutas de presión y temperatura a lo largo de la vida útil del campo.
- Impacto mínimo sobre el diseño de completación e instalación.
- Ausencia de problemas de interferencia electromagnética con ESP u otros componentes eléctricos de completación.
- La presión de reservorio en tiempo real da como resultado:
  - Intervenciones de pozo reducidas
  - Paradas de pozo reducidas
- El sistema óptico en pozo significa que todos los componentes complejos se ubican de manera conveniente en la superficie.

#### **4.8 SENSOR ÓPTICO DE PRESIÓN-TEMPERATURA**

El sensor óptico de presión-temperatura (P/T) provee monitoreo permanente de reservorio, permitiendo mejores tomas de decisiones en la administración del reservorio.

Operando de manera confiable en aplicaciones de alta-temperatura/alta-presión (HTHP), el sensor óptico P/T entrega mediciones estables y de alta resolución de la presión y temperatura del reservorio, sin deriva mensurable.

Sus capacidades operativas únicas ofrecen un margen de desempeño para pozos de alto valor.

#### ***4.8.1 Aplicaciones para el Sensor Óptico de Presión-Temperatura***

El sensor está diseñado para proveer un servicio confiable a todo lo largo de la vida útil del pozo y puede ser usado en las siguientes aplicaciones:

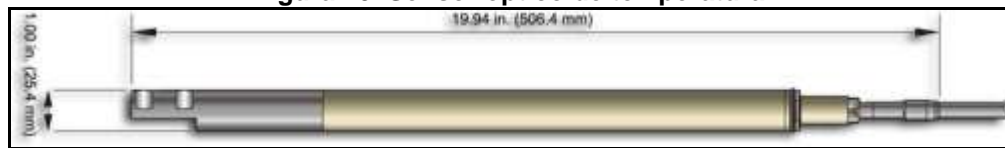
- Medición de presión fluyente en pozo.
- Determinación de presión de reservorio durante los cierres de válvulas de pozo.
- Recolección de dato para análisis de transitorios de presión (determinación de corteza, permeabilidad y fronteras de reservorio).
- Administración y control de rampa de producción de pozo.
- Prueba de interferencia y determinación de conectividad de reservorio.
- Integración uniforme con otros sensores ópticos.
- Pozos inteligentes.
- Pozos submarinos

#### ***4.8.2 Características, Ventajas y Beneficios del Sensor Óptico de Presión-Temperatura***

- La plataforma de tecnología óptica permite el diseño del sensor con un mínimo de partes componentes y sin partes móviles para asegurar operaciones confiables a lo largo de la vida útil del pozo.
- El sensor está diseñado para ofrecer mediciones estables sin deriva mensurable, eliminando las preocupaciones relativas a las mediciones de presión y temperatura absolutas a lo largo de la vida útil del campo.
- El sensor posee el más alto nivel de supervivencia contra choque mecánico y vibración de la industria, permitiéndole soportar impactos, vibraciones y subidas de presión significativas.

- Su inmunidad a interferencias electromagnéticas significa que la funcionalidad no será interrumpida por otros componentes eléctricos de la completación.
- Los componentes complejos de interrogación se ubican a nivel de superficie, haciendo que el sistema de sensores sea de fácil servicio.
- El sensor es químicamente inerte, minimizando los problemas de compatibilidad contra corrosión.
- La disponibilidad bajo demanda de la dato de presión de reservorio reduce las intervenciones de pozo y los cierres de válvulas de producción.
- El sensor es electrónicamente pasivo, sin electrónica en fondo de pozo, incrementando la confiabilidad y estabilidad del sistema.
- El sensor cuenta con una impronta e interfaz para mandril estándares y no requiere más que los procedimientos estándar para manejo e instalación de la industria, para un mínimo efecto sobre la arquitectura de la completación.

**Figura 10. Sensor óptico de temperatura**



**Fuente. <http://www.ep-solutions.com>, Octubre 2007**

#### **4.9 VARIADOR DE VELOCIDAD O (VSD)**

El motor de corriente alterna, a pesar de ser un motor robusto, de poco mantenimiento, liviano e ideal para la mayoría de las aplicaciones industriales, tiene el inconveniente de ser un motor rígido en cuanto a su velocidad. La velocidad del motor asíncrono depende de la forma constructiva del motor y de la frecuencia de alimentación.

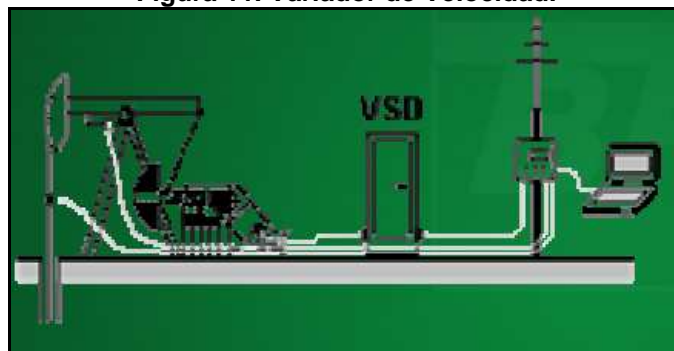
Como la frecuencia de alimentación que entregan las Compañías de electricidad es constante, la velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varíe el número de polos, el resbalamiento o la

frecuencia. El método más eficiente de controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. No se requieren motores especiales, son mucho más eficientes y tienen precios cada vez más competitivos.

El variador de velocidad regula la frecuencia del voltaje aplicado al motor, logrando modificar su velocidad. Sin embargo, simultáneamente con el cambio de frecuencia, debe variarse el voltaje aplicado al motor para evitar la saturación del flujo magnético con una elevación de la corriente que dañaría el motor.

En el Anexo A se ilustra diferentes marcas de variadores, con sus especificaciones técnicas.

**Figura 11. Variador de Velocidad.**



**Fuente. Autor**

#### **4.9.1 Como está compuesto un variador de velocidad**

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

- **Etapa Rectificadora.** Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.
- **Etapa intermedia.** Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.
- **Inversor o "Inverter".** Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se

emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobrecorriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobretemperaturas, etc.

- **Etapa de control.** Esta etapa controla los IGBT<sup>3</sup> para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc.

Los variadores mas utilizados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia. Los fabricantes que utilizan bobinas en la línea en lugar del circuito intermedio, pero tienen la desventaja de ocupar más espacio y disminuir la eficiencia del variador.

El Inversor o Inverter convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor.

La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor.

Las señales de control para arranque, parada y variación de velocidad (potenciómetro o señales externas de referencia) estén aisladas

---

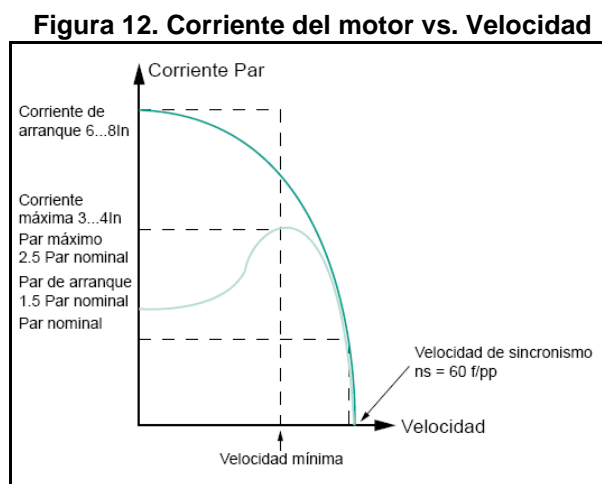
<sup>3</sup> IGBT: es un dispositivo para la conmutación en sistemas de alta tensión. Esto ofrece la ventaja de controlar sistemas de potencia aplicando una señal eléctrica de entrada muy débil en la puerta. El IGBT es adecuado para velocidades de conmutación de hasta 20 Khz. y ha sustituido al BJT en muchas aplicaciones.

galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control.

#### 4.9.2 El motor

Los variadores de velocidad están preparados para trabajar con motores trifásicos asíncronos de rotor jaula. La tensión de alimentación del motor no podrá ser mayor que la tensión de red.

La tensión y frecuencia de placa del motor se comporta de acuerdo al gráfico siguiente:



**Fuente. Manual Variador Yaskawa**

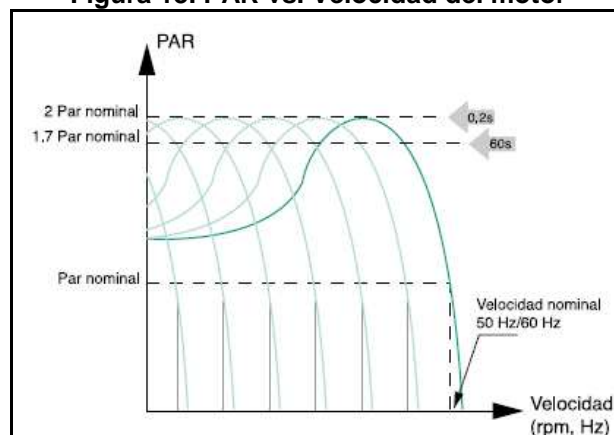
El dimensionamiento del motor debe ser tal que la cupla resistente de la carga no supere la cupla nominal del motor, y que la diferencia entre una y otra provea la cupla acelerante y desacelerante suficiente para cumplir los tiempos de arranque y parada.

### 4.9.3 El convertidor de frecuencia

Se denominan así a los variadores de velocidad que rectifican la tensión alterna de red (monofásica o trifásica), y por medio de seis transistores trabajando en modulación de ancho de pulso generan una corriente trifásica de frecuencia y tensión variable. Un transistor más, llamado de frenado, permite direccionar la energía que devuelve el motor (durante el frenado regenerativo) hacia una resistencia exterior.

La estrategia de disparo de los transistores del ondulator es realizada por un Microprocesador que, para lograr el máximo desempeño del motor dentro de todo el rango de velocidad, utiliza un algoritmo de control vectorial de flujo. Este algoritmo por medio del conocimiento de los parámetros del motor y las variables de funcionamiento (tensión, corriente, frecuencia, etc.), realiza un control preciso del flujo magnético en el motor manteniéndolo constante independientemente de la frecuencia de trabajo. Al ser el flujo constante, el par provisto por el motor también lo será.

**Figura 13. PAR vs. Velocidad del motor**



**Fuente. Manual Variador Yaskawa**

En el gráfico se observa que desde 1Hz hasta los 50 Hz el par nominal del motor está disponible para uso permanente, el 170% del par nominal está disponible durante 60 segundos y el 200% del par nominal está disponible durante 0,2 seg.

## Selección de un variador de velocidad

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- **Tipo de carga:** Par constante, par variable, potencia constante, cargas por impulsos.
- **Tipo de motor:** De inducción rotor jaula de ardilla o bobinado, corriente y potencia nominal, factor de servicio, rango de voltaje.
- **Rangos de funcionamiento:** Velocidades máximas y mínimas. Verificar necesidad de ventilación forzada del motor.
- **Par en el arranque:** Verificar que no supere los permitidos por el variador. Si supera el 170% del par nominal es conveniente sobredimensionar al variador.
- **Frenado regenerativo:** Cargas de gran inercia, ciclos rápidos y movimientos verticales requieren de resistencia de frenado exterior.
- **Condiciones ambientales:** Temperatura ambiente, humedad, altura, tipo de gabinete y ventilación.
- **Aplicación mono o multimotor:** Prever protección térmica individual para cada motor. La suma de las potencias de todos los motores será la nominal del variador.
- **Consideraciones de la red:** Microinterrupciones, fluctuaciones de tensión, armónicas, factor de potencia, corriente de línea disponible, transformadores de aislamiento.
- **Consideraciones de la aplicación:** Protección del motor por sobre temperatura y/o sobrecarga, contactor de aislamiento, bypass, re arranque automático, control automático de la velocidad.
- **Aplicaciones especiales:** Compatibilidad electromagnética, ruido audible del motor, bombeo, ventiladores y sopladores, izaje, motores en paralelo, etc.

## **5 NIVEL DE RTU**

El nivel de RTU trata lo referente al manejo, proceso y almacenamiento de todas las variables físicas que han sido tomadas a través del primer nivel y mediante los correspondientes transductores que han sido ya trasladadas a señales de instrumentación de 4 a 20 mA, 1V a 5V o cualquier otro tipo o valor de voltaje de corriente manejado en instrumentación; en este nivel el controlador bien sea la unidad Terminal remota RTU o el PLC toma estas señales y las convierte a valores propios para el manejo de la unidad central de proceso y llevarla por cualquier medio de comunicación hasta un centro de control.

### **5.1 UNIDADES TERMINALES REMOTAS RTU.**

Las unidades terminales remotas (RTU) son equipos inteligente microprocesados, ubicados en los diferentes puntos del sistema, que recogen y concentra la información de los dispositivos de campo para trasmitirla por un sistema de comunicación a un centro de control. En el Anexo B se puede observar un ejemplo de la RTU tipo poste RMS900.

Básicamente se compone de tres parte principales:

- CPU o unidad central de proceso.
- Tarjetas de entrada/salida.
- Tarjetas de comunicación/puertos.

**Figura 14. Unidad Terminal Remota**



**Fuente. <http://www.conecta.cl>, Octubre 2007**

Las unidades terminales remotas son parte importante dentro de cualquier proceso de automatización, es el resultado de la evaluación de las PLC's. Su arquitectura es similar a la de un PC; con puertos seriales, procesador central, memoria RAM, jumper's para configuración, etc... sin embargo se diferencia de los PLC por alta confiabilidad en el control de procesos, su resistencia al trabajo pesado, la capacidad de recibir mantenimiento en caliente etc., además su programación se hace por un programa elaborado por el fabricante y no contienen un sistema operativo, pues la programación de la RTU es el sistema operativo. La RTU debe ser adecuada para el proceso específico donde se utilizara, razón por la cual debe ser programada; este programa puede ser modificado desde el centro de control vía radio modem.

### ***5.1.1 Unidad Central de Proceso***

La CPU es la parte inteligente de la RTU se basa en procesadores 80186, 81386 o mas avanzados. Allí existen también memorias RAM, PROM y EPROM, que poseen varios módulos preprogramados que permiten hacer cálculos, controles, comandos, etc., con los cuales se puede manejar los procesos en la forma que se desee, así como efectuar el almacenamiento de de datos históricos.

### 5.1.2 Tarjetas de Entrada/Salida

La parte de entrada salida esta compuesta por una serie de tarjetas de diversos tipos, de acuerdo a la señal que va a recibir, pues actúan como interfaz entre la instrumentación y el sistema de comunicaciones. De esta forma podemos catalogar el tipo de tarjeta así:

- **Entrada Análoga:** Señal de 4 a 20 mA, por ejemplo de un transmisor.
- **Entrada Digital:** Contacto Seco, por ejemplo de una alarma.
- **Salida Análoga:** Señal de 4 a 20 mA, por ejemplo un comando para regulación de una válvula.
- **Salida Digital:** Contacto seco; por ejemplo un comando de apertura o cierre de una válvula.
- **Entrada de pulsos:** Señal de frecuencia; por ejemplo de un medidor de desplazamiento positivo.

- **Otras salidas o entradas.**

Existen otros tipos de salidas o entradas que pueden actuar a manera de pulsos como:

- Low Speed Counter.
- High Speed Counter.
- Generadores de pulso.

### 5.2 Tarjeta Modbus

Figura 15. Tarjeta Modbus



Fuente. <http://www.ampere.com.mx>, Octubre 2007

## **Tablero de comunicaciones para medidores de energía de la serie H8100**

Con esta tarjeta de comunicación, el medidor H8100 puede ser conectado a un control Modbus o a una red de datos. Proporciona reportes y diagnósticos sobre energía y potencia incluyendo kW, kWh, kVAR, PF, A y V. Fácil de instalar, con sus interruptores se puede seleccionar diferentes configuraciones de conexión a red, como son paridad, razón de baudio y cableado de 2 ó 4 cables.

### **Características:**

- Fácil Conexión de red a sistemas existentes vía RS-485
- Paridad seleccionable de campo: par / impar / nada
- Trabaja con sistemas de 2 y 4 cables
- Razón de baudio seleccionable de 2400, 4800, 9600, 19200.
- Medida de demanda de intervalo y subintervalo.

### **5.2.1 Especificaciones de Ingeniería**

- La tarjeta de comunicación consistirá de trazado de circuitos electrónico digital.
- La tarjeta de comunicación será compatible con el medidor de energía comercial H12863.
- La tarjeta de comunicación será ofrecido como una opción incluida de fábrica o como una opción instalada de campo.
- La tarjeta de comunicación se comunicará vía Modbus RTU.
- La tarjeta de comunicación no requerirá recalibración manual por usuarios en el campo.
- La tarjeta de comunicación ofrecerá una conexión de selección por el usuario RS485 de 2 o 4 alambres.
- La tarjeta de comunicación ofrecerá un direccionamiento seleccionable por el usuario entre 1 y 63.

- La tarjeta de comunicación ofrecerá una razón de baudios seleccionable por el usuario de 2400, 4800, 9600 o 19200.
- La tarjeta de comunicación ofrecerá una paridad de nada, par o impar seleccionable por el usuario.

### **5.3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)**

Hasta no hace mucho tiempo el control de procesos industriales se venía haciendo de forma cableada por medio de contactores y relés. Al operario que se encontraba a cargo de este tipo de instalaciones, se le exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizarlas y posteriormente mantenerlas. Además cualquier variación en el proceso suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los montajes, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y un mayor desembolso económico.

En la actualidad no se puede entender un proceso complejo de alto nivel desarrollado por técnicas cableadas. El ordenador y los autómatas programables han intervenido de forma considerable para que este tipo de instalaciones se hayan visto sustituidas por otras controladas de forma programada.

El Autómata Programable Industrial (API) nació como solución al control de circuitos complejos de automatización. Por lo tanto se puede decir que un API no es más que un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. A él se conectan los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc...) por una parte, y los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, pequeños receptores, etc...) por otra.

## **Campos de aplicación**

Un autómatas programable suele emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de las siguientes necesidades:

- Espacio reducido.
- Procesos de producción periódicamente cambiantes.
- Procesos secuenciales.
- Maquinaria de procesos variables.
- Instalaciones de procesos complejos y amplios.
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

## **Aplicaciones generales:**

- Maniobra de máquinas.
- Maniobra de instalaciones.
- Señalización y control.

Tal y como dijimos anteriormente, esto se refiere a los autómatas programables industriales, dejando de lado los pequeños autómatas para uso más personal (que se pueden emplear, incluso, para automatizar procesos en el hogar, como la puerta de un cochera o las luces de la casa).

### ***5.3.1 Ventajas e inconvenientes de los PLC's***

Entre las ventajas tenemos:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido en otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómatas.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.

- Si el autómatas queda pequeño para el proceso industrial puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.

**Figura 16. Controlador Lógico Programable**



Fuente. <http://www.lacomunidad.eu>, Octubre 2007

#### 5.4 TIPOS DE ENCERRAMIENTOS NEMA

**Tabla 1. Tipo de encerramientos NEMA**

<b>Tipos de Encerramientos NEMA</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicaciones típicas</b>
NEMA-1	Propósito general	Uso interior; Protección contra contacto incidental
NEMA-2	A prueba de goteo	Interiores
NEMA-3	Protección contra polvo esparcido por el viento, Resistente a la lluvia	Exteriores
NEMA-3R	A prueba de lluvia	Uso exterior para proteger contra lluvia, aguanieve, y protección contra hielo
NEMA-4	Sellado contra Agua y Sellado contra Polvo	Uso interior o exterior para proteger contra polvo y lluvia soplados por el viento,

		salpicado y chorro directo de agua
NEMA-4X	Sellado contra agua, Sellado contra polvo, Resistente a la Corrosión	Interiores
NEMA-6	Sumergible, Sellado contra agua, Sellado contra polvo	Interiores y Exteriores
NEMA-7	Clase I (Área Peligrosa)	Uso interior en áreas Clase I, por NEC
NEMA-8	Clase I (Área Peligrosa)	Uso interior en equipo sumergido en aceite Clase I
NEMA-9	Clase II (Área Peligrosa)	Uso interior en áreas Clase II por NEC
NEMA-10	Oficina de Minas	
NEMA-11	Resistente a la Corrosión y a Prueba de goteo	Interiores sumergido en aceite
NEMA-12	Uso Industrial, Sellado contra polvo	Uso interior para proteger contra polvo, tierra que cae y goteo de líquidos no corrosivos
NEMA-13	Sellado contra aceite y contra polvo	Interiores

**Fuente. <http://www.solaheviduty.com>, Febrero 2007**

## 6 NIVEL DE COMUNICACIONES

La Comunicación es la transferencia de información con sentido desde un lugar (remitente, fuente, originador, fuente, transmisor) a otro lugar (destino, receptor). Por otra parte Información es un patrón físico al cual se le ha asignado un significado comúnmente acordado. El patrón debe ser único (separado y distinto), capaz de ser enviado por el transmisor, y capaz de ser detectado y entendido por el receptor.

Si la información es intercambiada entre comunicadores humanos, por lo general se transmite en forma de sonido, luz o patrones de textura en forma tal que pueda ser detectada por los sentidos primarios del oído, vista y tacto. El receptor asumirá que no se está comunicando información si no se reciben patrones reconocibles.

En la siguiente figura se muestra un diagrama a bloques del modelo básico de un sistema de comunicaciones, en éste se muestran los principales componentes que permiten la comunicación.

Figura 17. Esquema de un sistema de Comunicaciones



Fuente. Autor

## **Elementos del sistema**

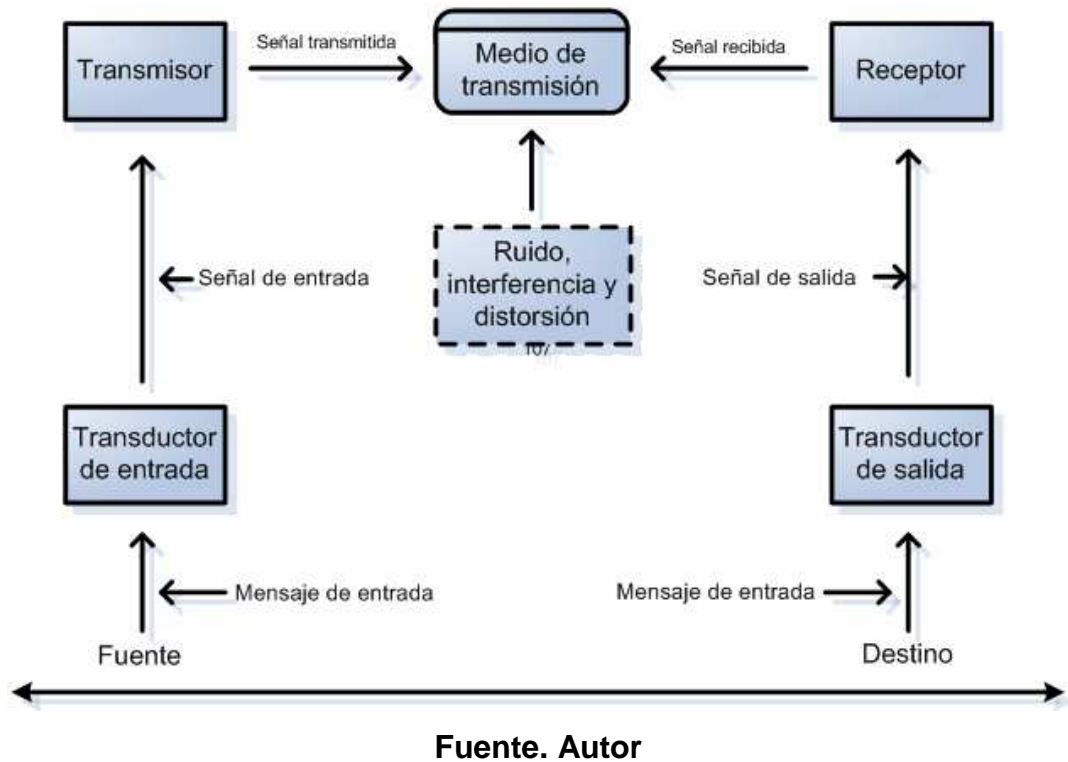
En toda comunicación existen tres elementos básicos (imprescindibles uno del otro) en un sistema de comunicación: el transmisor, el canal de transmisión y el receptor. Cada uno tiene una función característica.

El Transmisor pasa el mensaje al canal en forma de señal. Para lograr una transmisión eficiente y efectiva, se deben desarrollar varias operaciones de procesamiento de la señal. La más común e importante es la modulación, un proceso que se distingue por el acoplamiento de la señal transmitida a las propiedades del canal, por medio de una onda portadora.

El Canal de Transmisión o medio es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor, siendo el puente de unión entre la fuente y el destino. Este medio puede ser un par de alambres, un cable coaxial, el aire, etc. Pero sin importar el tipo, todos los medios de transmisión se caracterizan por la atenuación, la disminución progresiva de la potencia de la señal conforme aumenta la distancia.

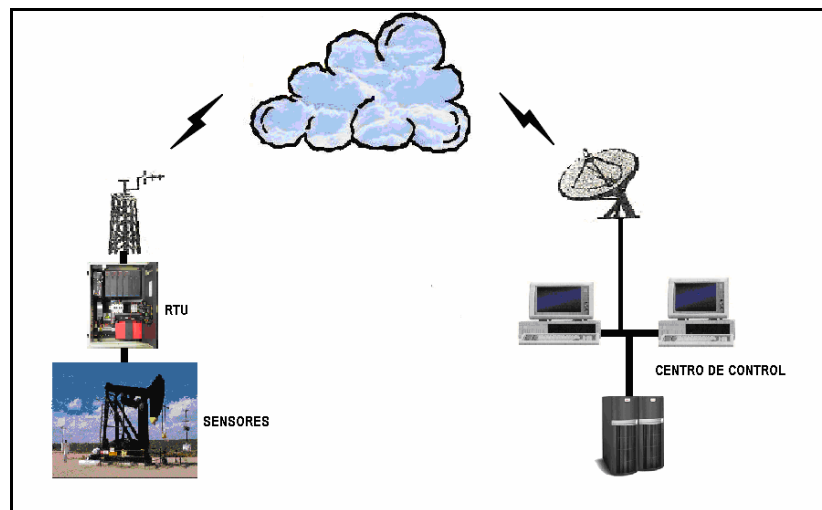
La función del Receptor es extraer del canal la señal deseada y entregarla al transductor de salida. Como las señales son frecuentemente muy débiles, como resultado de la atenuación, el receptor debe tener varias etapas de amplificación. En todo caso, la operación clave que ejecuta el receptor es la demodulación, el caso inverso del proceso de modulación del transmisor, con lo cual vuelve la señal a su forma original.

**Figura 18. Modelo Básico de un Sistema de Comunicación**



El nivel de comunicación de un sistema SCADA, se encarga de tomar la información de las RTU y trasmitirla por el medio escogido hasta el centro de control, el sistema maneja tanto voz como datos.

**Figura 19. Diagrama de conectividad de comunicación**

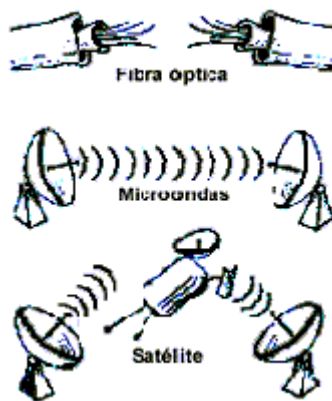


**Fuente. Autor**

- **Medios de Transmisión**

El medio de transmisión constituye el soporte físico a través del cual emisor y receptor pueden comunicarse en un sistema de transmisión de datos. Distinguimos dos tipos de medios: guiados y no guiados. En ambos casos la transmisión se realiza por medio de ondas electromagnéticas. Los medios guiados conducen (guían) las ondas a través de un camino físico, ejemplos de estos medios son el cable coaxial, la fibra óptica y el par trenzado. Los medios no guiados proporcionan un soporte para que las ondas se transmitan, pero no las dirigen; como ejemplo de ellos tenemos el aire y el vacío.

**Figura 20. Medios de Transmisión**



Fuente. <http://www.convega.com>, Octubre 2007

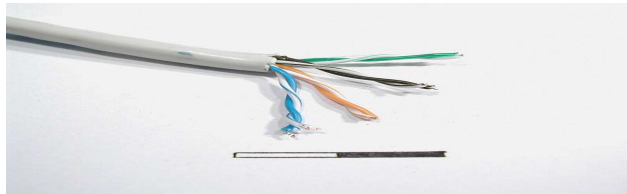
## 6.1 MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS

### 6.1.1 Pares trenzados

Este consiste en dos alambres de cobre aislados, en general de 1mm de espesor. Los alambres se entrelazan en forma helicoidal, como en una molécula de DNA. La forma trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. Los pares trenzados se pueden utilizar tanto para transmisión analógica como digital, y su ancho de banda depende del calibre del alambre y

de la distancia que recorre; en muchos casos pueden obtenerse transmisiones de varios mega bits, en distancias de pocos kilómetros. Debido a su adecuado comportamiento y bajo costo, los pares trenzados se utilizan ampliamente y es probable que su presencia permanezca por muchos años.

**Figura 21. Par Trenzado**



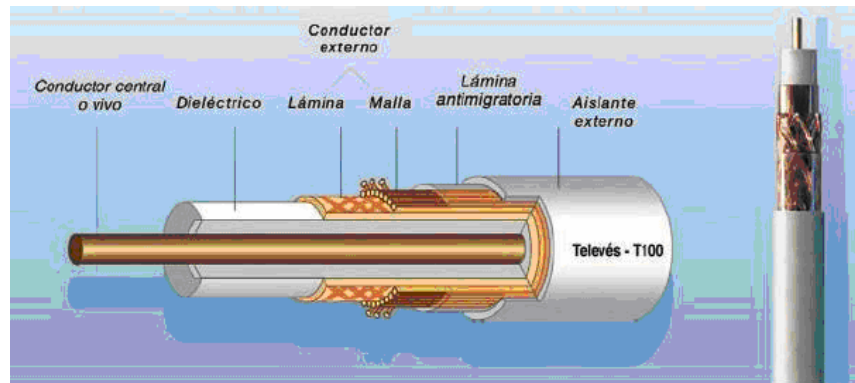
**Fuente. <http://www.edu.xunta.es>, Octubre 2007**

### **6.1.2 Cable coaxial**

El cable coaxial consta de un alambre de cobre duro en su parte central, es decir, que constituye el núcleo, el cual se encuentra rodeado por un material aislante.

Este material aislante está rodeado por un conductor cilíndrico que frecuentemente se presenta como una malla de tejido trenzado. El conductor externo está cubierto por una capa de plástico protector. La construcción del cable coaxial produce una buena combinación y un gran ancho de banda y una excelente inmunidad al ruido. El ancho de banda que se puede obtener depende de la longitud del cable; para cables de 1km, por ejemplo, es factible obtener velocidades de datos de hasta 10Mbps, y en cables de longitudes menores, es posible obtener velocidades superiores. Se pueden utilizar cables con mayor longitud, pero se obtienen velocidades muy bajas. Los cables coaxiales se emplean ampliamente en redes de área local y para transmisiones de largas distancia del sistema telefónico.

**Figura 22. Cable Coaxial**



**Fuente. <http://images.google.es>, Octubre 2007**

### **6.1.3 Fibra óptica**

Un cable de fibra óptica consta de tres secciones concéntricas. La más interna, el núcleo, consiste en una o más hebras o fibras hechas de cristal o plástico. Cada una de ellas lleva un revestimiento de cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La capa más exterior, que recubre una o más fibras, debe ser de un material opaco y resistente.

Un sistema de transmisión por fibra óptica está formado por una fuente luminosa muy monocromática (generalmente un láser), la fibra encargada de transmitir la señal luminosa y un fotodiodo que reconstruye la señal eléctrica.

**Figura 23. Fibra óptica.**



**Fuente. <http://www.inde.com.ar>, Octubre 2007**

## **6.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN NO GUIADOS.**

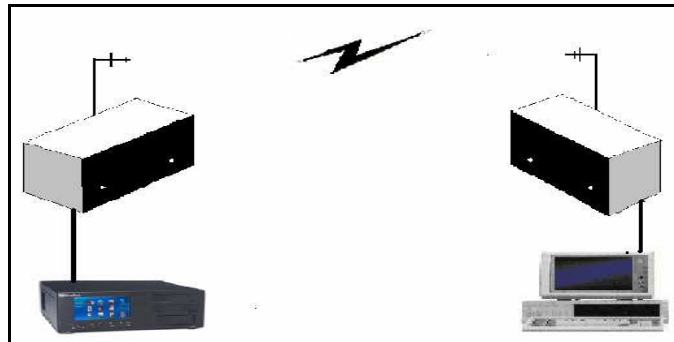
Las comunicaciones inalámbricas tienen ventajas para los dispositivos fijos en ciertas circunstancias, puesto que puede ser costoso tender fibras o cables hasta los sitios remotos de un sistema SCADA.

La energía electromagnética está distribuida a través de un rango de frecuencia casi infinito llamado espectro electromagnético. Este está representado en una tabla la cual se extiende desde las frecuencias subsónicas hasta los rayos cósmicos. Cada grupo de frecuencia es llamado banda de frecuencia y estas poseen una característica única que la hace diferente de las otras bandas. Cuando se trabaja con frecuencia de radio, se utilizan las unidades de la longitud de onda en vez de la frecuencia. La longitud de onda es la longitud que un ciclo de una onda electromagnética ocupa en el espacio. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia y directamente proporcional a la velocidad de propagación.

### ***6.2.1 Radio enlaces de VHF y UHF.***

Las ondas de radio son propagadas cuando la energía eléctrica producida por el transmisor es convertida en energía magnética por la antena. Las ondas electromagnéticas pueden entonces viajar a través del espacio. La antena de recepción después intercepta una cantidad muy pequeña de esta energía magnética y la convierte nuevamente en energía eléctrica que es amplificada por el receptor de radio.

**Figura 24. Enlace de comunicación vía radio.**



**Fuente. Autor**

Las características de propagación de una onda de radio dependen de varios factores los cuales afectan a los alcances y el desempeño de un sistema de radio, generalmente estos factores son las interferencias en el cambio de la señal de radio y las pérdidas en los equipos transmisores.

El factor más importante para lograr una buena comunicación entre dos sitios a través de un sistema vía radio es usar una configuración de la línea de vista, en donde no existen obstáculos entre la antena del transmisor y la del receptor. Sin embargo la curvatura de la tierra limita la distancia en la línea de vista de un sistema vía radio.

La distancia máxima de una transmisión en línea de vista esta determinada por la altura de la antena. Otro factor importante para establecer un enlace vía radio es la potencia, en general, la potencia de la señal disminuye en proporción en el cuadrado de la distancia. Sin embargo, en la práctica, la potencia disminuye rápidamente debido a la atenuación causada por obstrucciones, árboles, el follaje, y otros factores.

### **Bandas de frecuencias**

Los sistemas de radio de la telemetría están normalmente configurados como estaciones fijas que obtienen la información de otras estaciones fijas de un sitio

lejano. El ministerio de comunicaciones reglamentó el uso del espectro radioeléctrico y asigna las frecuencias que se pueden utilizar.

### **VHF- Muy Altas Frecuencias**

- **Gama de Frecuencia:** de 30 MHz a 300 MHz.
- **Longitud de Onda:** de 10 a 1 metros.
- **Características:** Prevalentemente propagación directa, esporádicamente propagación Ionosférica o Troposférica.
- **Uso Típico:** Enlaces de radio a corta distancia, Televisión, Radiodifusión en Frecuencia Modulada.

### **UHF- Ultra Altas Frecuencias**

- **Gama de Frecuencia:** de 300 MHz a 3.000 MHz.
- **Longitud de Onda:** De 1 metro a 10 centímetros.
- **Características:** Exclusivamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.
- **Uso Típico:** Enlaces de radio, Radar, Ayuda a la navegación aérea, Televisión.

### **6.2.2 Microondas**

Con el término microondas se identifica a las ondas electromagnéticas en el espectro de frecuencias comprendido entre 300 MHz y 300 GHz. El periodo de una señal de microondas está en el rango de 3 ns a 3 ps, y la correspondiente longitud de onda en el rango de 1 m a 1 mm. Algunos autores proponen que el espectro electromagnético que comprenden es de 1 GHz a 30 GHz, es decir, a longitudes de onda entre 30 cm a 1 cm. A las señales con longitud de onda en el orden de los milímetros se les llama ondas milimétricas.

Las microondas tienen longitudes de onda aproximadamente en el rango entre 30 cm (frecuencia=1 GHz) a 1 mm (300 GHz). La existencia de ondas

electromagnéticas, de las cuales las microondas forman parte del espectro de alta frecuencia, fueron predichas por Maxwell en 1864 a partir de sus famosas Ecuaciones de Maxwell.

En 1888, Heinrich Rudolf Hertz fue el primero en demostrar la existencia de ondas electromagnéticas mediante la construcción de un aparato para producir ondas de radio.

El rango de las microondas incluye las bandas de radiofrecuencia de UHF (ultra-high frequency, frecuencia ultra alta en español) (0.3-3 GHz), SHF (super-high frequency, super alta frecuencia) (3-30 GHz) y EHF (extremely high frequency, extremadamente alta frecuencia) (30-300 GHz).

- Generación de las microondas

Las microondas pueden ser generadas de varias maneras, generalmente divididas en dos categorías: dispositivos de estado sólido y dispositivos basados en tubos de vacío. Los dispositivos de estado sólido para microondas están basados en semiconductores de silicio o arseniuro de galio, e incluyen transistores de efecto campo (FET), transistores de unión bipolar (BJT), diodos Gunn y diodos IMPATT. Se han desarrollado versiones especializadas de transistores estándar para altas velocidades que se usan comúnmente en aplicaciones de microondas. Los dispositivos basados en tubos de vacío operan teniendo en cuenta el movimiento balístico de un electrón en el vacío bajo la influencia de campos eléctricos o magnéticos, entre los que se incluyen el magnetrón, el klystron, el TWT y el girotón.

- Usos de las microondas

Un horno microondas usa un magnetrón para producir microondas a una frecuencia de aproximadamente 2.45 GHz para cocción. Las microondas hacen vibrar o rotar las moléculas de agua, esta vibración crea calor, el cual calienta

los alimentos. Debido a que la materia está hecha esencialmente de agua, los alimentos son fácilmente cocinados de esta manera.

Las microondas son usadas en radiodifusión, ya que estas pasan fácilmente a través de la atmósfera con menos interferencia que otras longitudes de onda mayores. También hay más ancho de banda en el espectro de microondas que en el resto del espectro de radio. Típicamente, las microondas son usadas para transmisión en noticieros televisivos para transmitir una señal desde una localización remota a una estación de televisión desde una camioneta especialmente equipada.

El radar también incluye radiación de microondas para detectar el rango, la velocidad y otras características de objetos remotos.

Protocolos inalámbricos LAN, tales como Bluetooth y las especificaciones IEEE 802.11g y b también usan microondas en la banda ISM, aunque la especificación 802.11a usa una banda ISM en el rango de los 5 GHz.

La televisión por cable y el acceso a Internet vía cable coaxial usan algunas de las más bajas frecuencias de microondas. Algunas redes de telefonía celular también usan bajas frecuencias de microondas.

Un máser es un dispositivo similar a un láser pero que trabaja con frecuencias de microondas.

- Bandas de frecuencia de microondas

El espectro de microondas es usualmente definido como energía electromagnética en el rango entre 1 GHz y 1000 GHz. Las aplicaciones más comunes de las microondas están en el rango de 1 y 40 GHz.

**Tabla 2. Bandas de frecuencias de Microondas**

<b>Bandas de frecuencia de microondas</b>	
<b>Designación</b>	<b>Rango de frecuencias</b>

<u>Banda L</u>	1 a 2 GHz
<u>Banda S</u>	2 a 4 GHz
<u>Banda C</u>	4 a 8 GHz
<u>Banda X</u>	8 a 12 GHz
<u>K<sub>u</sub> band</u>	12 a 18 GHz
<u>BandaK</u>	18 a 26 GHz
<u>K<sub>a</sub> band</u>	26 a 40 GHz
<u>Banda Q</u>	30 a 50 GHz
<u>BandaU</u>	40 a 60 GHz
<u>Banda V</u>	50 a 75 GHz
<u>Banda E</u>	60 a 90 GHz
<u>Banda W</u>	75 a 110 GHz
<u>Banda F</u>	90 a 140 GHz
<u>Banda D</u>	110 a 170 GHz

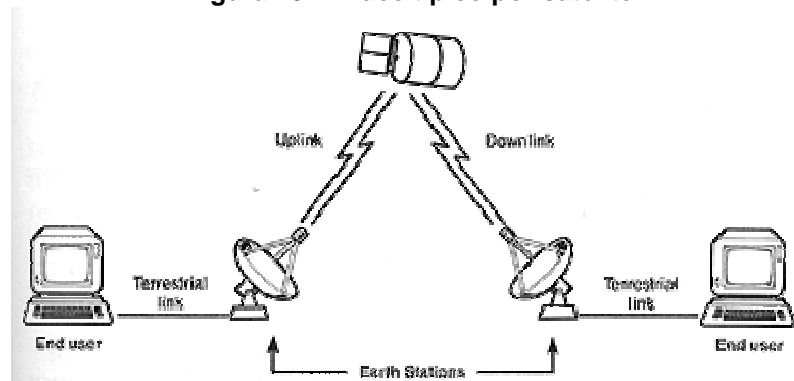
**Fuente: Autor**

### **6.2.3 Sistema Satelital**

Las comunicaciones satelitales se basan en la transmisión y recepción mediante un satélite geoestacionario colocado aproximadamente a 36.000 Km. de la tierra.

Las redes satelitales están compuestas por una serie de estaciones terrenas conectadas entre si por medio de satélites colocados en orbita espacial que retransmiten señales en el orden de microondas a través del espacio atmosférico. El equipo instalado dentro de un satélite recibe las señales enviadas desde una estación terrestre, las amplifica y las transmite a otra estación terrestre que las distribuye por pares de cables, cables coaxiales, guías de onda, fibras ópticas y sistemas de repetición de microondas.

Figura 25. Enlace típico por satélite



Fuente. <http://portalgsm.com>, Octubre 2007

Los satélites pueden ser ubicados a distintas distancias de la tierra y a velocidades diferentes de la de rotación, lo que permite coberturas locales, regionales y globales. De acuerdo a estos requerimientos se han desarrollado diferentes generaciones de satélites de comunicaciones.

#### **Características de los sistemas satelitales.**

Los satélites pueden clasificarse dependiendo del tipo de órbita utilizada, estas son unas de las más comunes.

- Los satélites de órbita elíptica (high earth orbit, HEO).
- Los satélites geoestacionarios (geosynchronous earth orbit, GEO).
- Los satélites de órbita terrestre baja (low earth orbit, LEO)

Básicamente un sistema de comunicación satelital es una repetición de RF. Cuando este se coloca en una órbita ecuatorial (Satélites geoestacionarios), el satélite gira a la misma velocidad de la tierra, y por ello siempre está sobre el mismo sitio. El sistema de comunicación satelital no es más que un radio enlace (microondas) que utiliza una o dos repetidoras de RF (Radio Frecuencia) localizadas a grandes distancias de sus estaciones terrenas. A causa de la distancia que se tiene, se debe considerar la orientación de la antena al satélite, que debe ser la misma que la altitud del satélite.

Puesto que se trabaja a grandes distancias, se debe tener en cuenta el tiempo que se requiere para atravesar una distancia, que esta en el orden de los 248 milisegundos; si se considera que este solo es el tiempo de ida no, se debe tener en cuenta que este tiempo se dobla cuando se trata de viaje de ida y vuelta, tomándose como tiempo total casi 500 milisegundos, es decir medio segundo. Estos tiempos de propagación son muchos mas grandes que los que se encuentran en los sistemas terrestres de microondas convencionales, uno de los problemas que se derivan de este retraso son los ecos.

Como otro hecho particular se debe también considerar que hay grandes pérdidas debidas a la distancia. En los enlaces de radio, se encuentran que las perdidas del espacio libre alcanzan un valor tan alto como 145 dB, pero a casi 36.000 Km. Que es la distancia a la cual se colocan la mayoría de los satélites geoestacionarios, trabajando a 4.2 GHz, se tienen perdidas por espacio libre de 199 dB, con una frecuencia de 14 GHz se tienen perdidas de 207 dB, y así sucesivamente.

Estas pérdidas no presentan un problema desde enlace tierra satélite, en donde se pueden montar transmisores de alta potencia y antenas de gran medida; sin embargo en el enlace satelital a tierra, la potencia del enlace se limita por las siguientes razones:

- La energía que requiere el satélite para transmitir proviene de las celdas solares, si la potencia de la transmisión es muy alta se requiere de un gran numero de arreglos de paneles solares para producirla y generar la potencia de RF deseada, esto hace que los niveles de señal recibida en la tierra sean muchos mas bajos que en los enlaces terrestres, (-150 dBW).
- Un tercer problema que existe actualmente es que la orbita geoestacionaria esta llena de satélites. La interferencia de radio frecuencia de un sistema satelital a otro se esta incrementando. Esto aplica particularmente a los sistemas que utilizan pequeñas antenas en las estaciones terrenas, con sus inherentes anchos de banda más amplios.

## 6.3 EL PUERTO SERIE Y LA COMUNICACIÓN ASÍNCRONA

### 6.3.1 Puerto RS-232

El puerto serie es un dispositivo muy extendido ya sea uno o dos, con conector grande o pequeño, todos los equipos PC lo incorporan actualmente. Debido a que el estándar del puerto serie se mantiene desde hace muchos años, la institución de normalización americana (EIA) ha escrito la norma RS-232-C que regula el protocolo de la transmisión de datos, el cableado, las señales eléctricas y los conectores en los que debe basarse una conexión RS-232.

La comunicación realizada con el puerto serie es una comunicación asíncrona. Para la sincronización de una comunicación se precisa siempre de una línea adicional a través de la cual el emisor y el receptor intercambian la señal del pulso. Pero en la transmisión serie a través de un cable de dos líneas esto no es posible ya que ambas están ocupadas por los datos y la masa. Por este motivo se intercalan antes y después de los datos informaciones de estado según el protocolo RS-232. Esta información es determinada por el emisor y receptor al estructurar la conexión mediante la correspondiente programación de sus puertos serie. Esta información puede ser la siguiente:

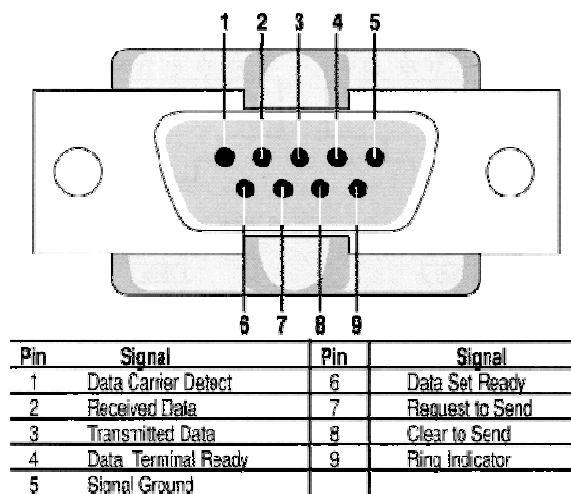
- **BIT de paridad.-** Con este bit se pueden descubrir errores en la transmisión. Se puede dar paridad par o impar. En la paridad par, por ejemplo, la palabra de datos a transmitir se completa con el bit de paridad de manera que el número de bits 1 enviados sea par.
- **BIT de parada.-** Indica la finalización de la transmisión de una palabra de datos. El protocolo de transmisión de datos permite 1, 1.5 y 2 bits de parada.

- **BIT de inicio.-** Cuando el receptor detecta el bit de inicio sabe que la transmisión ha comenzado y es a partir de entonces que debe leer la transmisión ha comenzado y es a partir de entonces que debe leer las señales de la línea a distancias concretas de tiempo, en función de la velocidad determinada.

La interfaz RS-232 dispone de hasta 25 líneas que están orientadas a la comunicación de dos equipos PC (DTE) a través de módems (DCE). En este caso se utilizarán para la conexión de los equipos PC prescindiendo de los módems. Para ello de las 25 líneas que posee se han utilizado sólo las siguientes:

- **Línea de transmisión de datos (TxD).** Línea por la que el DTE (PC) envía los datos.
- **Línea de recepción de datos (RxD).** Línea por la que el DTE (PC) recibe los datos.
- **DTE preparado (DTR).** Línea por la que el DTE (PC) indica al DCE (módem) que está activo para comunicarse con el módem.
- **DCE preparado (DSR).** Línea por la que el DCE (módem) indica al DTE (PC) que está activo para establecer la comunicación.
- **Petición de envío (RTS).** Con esta línea, el DTE (PC) indica al DCE (módem) que está preparado para transmitir datos.
- **Preparado para enviar (CTS).** Tras un RTS, el DCE (módem) pone esta línea en 1 lógico, tan pronto como está preparado para recibir datos.
- **Masa.** Necesaria para que tenga lugar la transmisión.

Figura 26. Puerto RS-232



Fuente. <http://www.aggsoft.com>, Octubre 2007

### 6.3.2 Puerto RS-485

Está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbps hasta 10 metros y 100 Kbps en 1.200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1.200 metros operando entre 300 y 19200 bps y la comunicación half-duplex (semiduplex). Soporta 32 transmisiones y 32 receptores. La transmisión diferencial permite múltiples drivers dando la posibilidad de una configuración multipunto. Al tratarse de un estándar bastante abierto permite muchas y muy diferentes configuraciones y utilidades. Desde 2003 está siendo administrado por la TIA y titulado como TIA-485-A.

#### Especificaciones requeridas

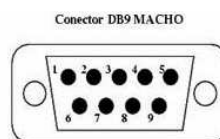
- Interfaz diferencial
- Conexión multipunto
- Alimentación única de +5V

- Hasta 32 estaciones
- Velocidad máxima de 10 Mbps (a 12 metros)
- Longitud máxima de alcance de 1.200 metros (a 100 Kbps)
- Rango de bus de -7V a +12V

### Aplicaciones

- SCSI -2 y SCSI-3 usan esta especificación para ejecutar la capa física.
- RS-485 se usa con frecuencia en los UART s para comunicaciones de datos de poca velocidad en las cabinas de los aviones. Por ejemplo, algunas unidades de control del pasajero lo utilizan. Requiere el cableado mínimo, y puede compartir el cableado entre varios asientos. Por lo tanto reduce el peso del sistema.
- RS-485 se utiliza en sistemas grandes de sonido, como los conciertos de música y las producciones de teatro, se usa software especial para controlar remotamente el equipo de sonido de una computadora, es utilizado más generalmente para los micrófonos.
- RS-485 también se utiliza en la automatización de los edificios pues el cableado simple del bus y la longitud de cable es larga por lo que son ideales para ensamblar los dispositivos que se encuentran alejados.

**Figura 27. Puerto RS-485**



**RS-485 side:**  
**2: B (-)**  
**3: A (+)**  
**5: GND**  
**9: Ext. PWR**

**Fuente. <http://www.pc-interface>, Octubre 2007**

## 6.4 BUSES DE CAMPO

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción. El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente de 4-20mA. Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y sensores. Varios grupos han intentado generar e imponer una norma que permita la integración de equipos de distintos proveedores. Sin embargo hasta la fecha no existe un bus de campo universal. Los buses de campo con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son:

### 6.4.1 HART

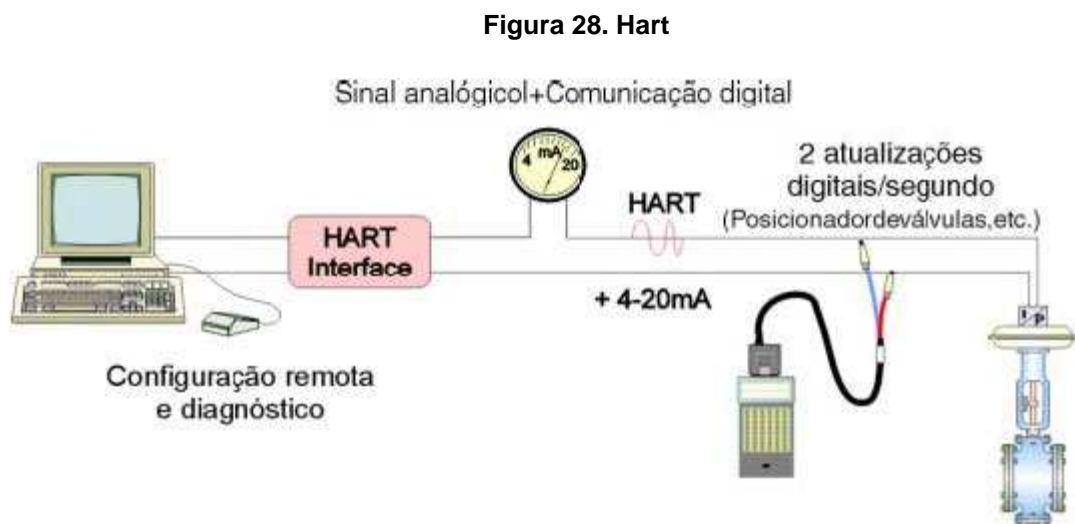
El protocolo HART (**H**igh way-**A**dressable-**R**emote-**T**ransducer) fue desarrollado inicialmente por *Rosemount Inc.* y agrupa la información digital sobre la señal analógica típica de 4 a 20 mA DC. La señal digital usa dos frecuencias individuales de 1200 y 2200 Hz, que representan los dígitos 0 y 1 y que forman una onda senoidal que se superpone al lazo de corriente de 4-20 mA. Como la señal promedio de una onda senoidal es cero, no se añade ninguna componente DC a la señal analógica de 4-20 mA.

El protocolo HART habilita la comunicación digital bidireccional con instrumentos inteligentes sin perturbar la señal analógica de 4-20 mA. HART permite la transmisión tanto de la señal analógica de 4-20 mA y la señal de comunicación digital simultáneamente sobre la misma instalación eléctrica. La información de la variable primaria de control es conducida por la señal de 4-20 mA (si se desea), mientras las medidas adicionales, parámetros de proceso,

configuración del dispositivo, calibración, y la información de diagnóstico es al mismo tiempo accesible a través del protocolo HART sobre los mismos cables.

### Características:

- Permite soportar hasta 256 variables.
- Los transmisores pueden conectarse entre sí a través de un bus y conectarse con 15 aparatos (PLC, PCs, etc.).
- Entrega una alternativa económica de comunicación digital.
- Implica un ahorro considerable en materiales eléctricos en las instalaciones multipunto.



Fuente. <http://www.smar.com/Images/Hart-fig3.jpg>, Enero 2008

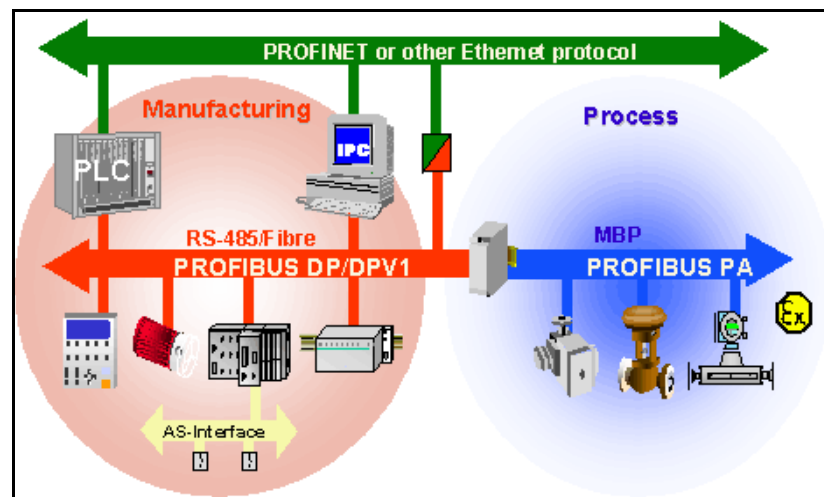
### 6.4.2 PROFIBUS (Process Field Bus)

Norma internacional de bus de campo de alta velocidad para control de procesos normalizada en Europa por EN 50170. Existen tres perfiles:

- Profibus DP (Decentralized Periphery). Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLCs) o terminales.

- Profibus PA (Process Automation). Para control de proceso, cumple normas especiales de seguridad para la industria química (IEC 1 1 5 8-2, seguridad intrínseca).
- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification). Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización.

Figura 29. Profibus



Fuente. <http://www.smar.com>, Octubre 2007

### Características

- La misma topología, protocolo y estructura de red.
- Adaptación a diferentes baudrates, desde 9,6 Kbd hasta 12 Mbd permiten adaptar la comunicación a cada requisito tecnológico.
- Enorme capacidad de procesamiento de diagnóstico.
- Adaptación a diferentes medios como fibra óptica (para largas distancias o ambientes con perturbaciones), cable de cobre en RS-485 o para entornos Ex (con riesgos de explosión) donde se requiere enviar la energía por el mismo cable de señal.
- Reconfiguración online sin caída del maestro y reemplazo con energía.
- Independiente de la marca: cualquier componente de cualquier marca puede comunicarse con otro que adhiera al estándar Profibus.

### 6.4.3 FOUNDATION FIELDBUS

Foundation Fieldbus (FF) es un protocolo para redes industriales, específicamente para aplicaciones de control distribuido. Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización, orientado sobre todo a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo.

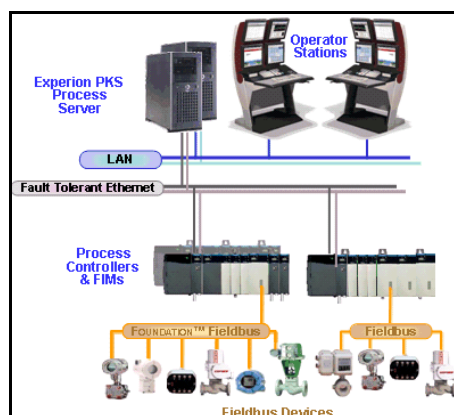
Su desarrollo ha sido apoyado por importantes fabricantes de instrumentación (Fisher-Rosemount, Foxboro, etc.).

Actualmente están definidas dos versiones: H1 (31.25Kbps) interconecta equipos de campo, como sensores, actuadores y I/O. En el mercado ocupa un nicho similar al de Profibus PA: mientras que PA está mucho más extendido en Europa, H1 tiene su origen y su área de mayor distribución en América y Asia.

HSE (100Mbps/1Gbps) provee integración de controladores de alta velocidad (como PLCs), redes H1, servidores de datos, y estaciones de trabajo.

Foundation Fieldbus se diferencia de cualquier otro protocolo de comunicaciones, porque en vez de estar pensado simplemente como un medio de transmisión de datos, está diseñado para resolver aplicaciones de control de procesos.

Figura 30. Fieldbus



Fuente. <http://hpsweb.honeywell.com>, Octubre 2007

## **Características**

- Apropriado para su uso en zonas de seguridad intrínseca (IS)
- Dispositivos de campo alimentados a través del bus
- Topología en bus o en árbol.
- Permite comunicación multi-master.
- Transmisión de datos distribuida.
- Modelo de bloques estandarizado para una interfaz uniforme a los dispositivos.
- Opciones de extensión flexibles basadas en la descripción de los dispositivos.

### **6.4.4 BITBUS**

BITBUS es un sistema de comunicación serie para uso industrial, normalmente denominado bus de campo. Está basado en una línea compartida RS-485 (varias estaciones de comunicación en un mismo par de cables) y está optimizado para la transmisión de pequeños mensajes en tiempo real. En instalaciones más actuales se emplea también fibra óptica para su implementación.

Una red de comunicación BITBUS siempre posee un maestro y uno o varios esclavos. Cada esclavo posee su propia dirección de red que le hace diferenciable e identificable dentro de la red. El maestro maneja la red seleccionando los esclavos. Los esclavos deben responder exclusivamente cuando son requeridos por el maestro. Este simple método de control permite una alta seguridad en la comunicación, optimizada para la mayoría de las aplicaciones de automatización.

La estructura de una red BITBUS siempre se compone de un maestro, un número de esclavos y, si es necesario, uno o varios repetidores. Los

repetidores deben ser empleados si hay presentes más de 28 estaciones de trabajo a lo largo del segmento de cable que se va a emplear.

Cuando se emplea en ambientes con ruido industrial, es recomendable una separación galvánica de la interfaz BITBUS: el RS-485 está óptimamente aislado del controlador. La utilización de un cable de fibra óptica también es posible, pero no obligatoria. La experiencia muestra que un buen cable blindado, con una referencia a tierra, combinado con la señal diferencial del RS-485 es un medio físico excelente, incluso en ambientes ruidosos. Y además es barato.

Una característica importante de BITBUS es que está aceptado internacionalmente como un estándar industrial: enlaza equipos de diferentes fabricantes, siendo el hardware y el software totalmente estandarizados y compatibles. En 1991 el BITBUS fue oficialmente estandarizado como un estándar internacional IEEE-1118. El estándar IEEE-1118 contiene la funcionalidad del clásico BITBUS de Intel como base e incorpora nuevas funciones.

Las implementaciones clásicas del protocolo BITBUS están basadas en el microcontrolador i8044: este microcontrolador contiene el soporte completo de las especificaciones BITBUS, incluyendo el controlador RAC y un pequeño núcleo operador en tiempo real. Las implementaciones modernas están basadas en diferentes procesadores y microcontroladores, que presentan un bajo consumo de potencia y un alto rendimiento de transferencia para BITBUS.

Una de las razones del éxito de BITBUS son los servicios RAC. El RAC (Remote Access Control) es una serie de servicios destinados a proporcionar un acceso directo a recursos remotos, tareas, E/S, memoria, etc. En el modelo OSI, las funciones RAC cubren la capa de aplicación (capa 7).

Figura 31. BITBUS



Fuente. <http://www.tig.at>, Octubre 2007

A pesar que BITBUS es un bus de campo algo antiguo, emplea un protocolo moderno: la comunicación está basada en el protocolo SDLC, inventado por IBM, que es empleado también en comunicaciones Ethernet e ISDN.

### Características generales.

**Tipo:** Red maestro-esclavo mediante tramas de mensaje. 248 bytes máx. De longitud por mensaje.

**Estructura:** Bus, terminado en ambos extremos. Prolongación posible mediante el empleo de repetidores.

**Soporte:** Par de cables trenzados (un par, impedancia característica de 120) con toma de tierra y apantallado. Segundo par necesario para operar con repetidor.

**Niveles eléctricos:** Par diferencial 0/5V según está definido en RS-485.

**Protocolo:** SDLC con NRZI sincronizado de reloj propio (autoreloj) con flags de apertura y cierre, testeo de direccionamiento y comprobación de palabra por CRC de 16 bits.

**Tasa de transferencia:** 375k BIT/s o 62,5k BIT/s.

**Esclavos:** 28 por segmento con repetidores después de cada segmento, 250 máximo. Tasa de transferencia con más de un repetidor: 62,5K BIT/s exclusivamente.

**Longitud:** 300m por segmento a 375k Bit/s, 1200m a 62,5kBit/s.

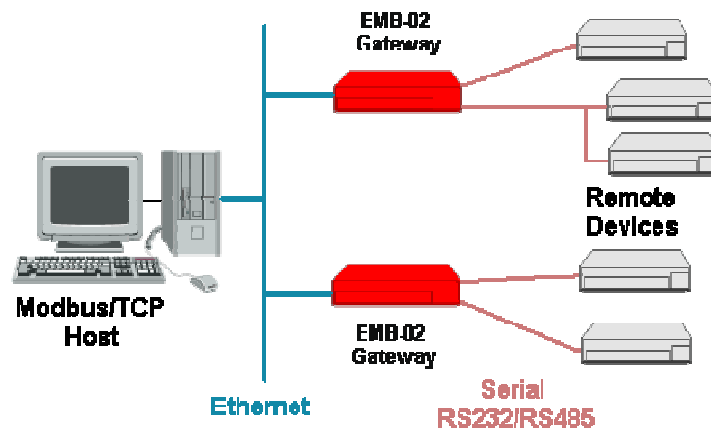
#### **6.4.5 MODBUS**

Modbus/TCP es un protocolo de comunicación diseñado para permitir a equipo industrial tal como Controladores Lógicos Programables (PLCs), computadores, motores, sensores, y otros tipos de dispositivos físicos de entrada/salida comunicarse sobre una red.

Modbus/TCP fue introducido por Schneider Automation como una variante de la familia MODBUS ampliamente usada, los protocolos de comunicación simple y abierta, destinada para la supervisión y el control de equipo de automatización. Específicamente, el protocolo cubre el uso de mensajes MODBUS en un entorno Intranet o Internet usando los protocolos TCP/IP.

La especificación Modbus/TCP define un estándar interoperable en el campo de la automatización industrial, el cual es simple de implementar para cualquier dispositivo que soporta sockets TCP/IP.

Figura 32. MODBUS



Fuente. <http://www.dcbnet.com>, Octubre 2007

### Orientado a conexión.

MODBUS es un protocolo de comunicación sin estado, es decir, cada solicitud del maestro es tratada independientemente por el esclavo y es considerada una nueva solicitud no relacionada a las anteriores, de esta forma haciendo a las transacciones de datos altamente resistentes a rupturas debido a ruido y además requiriendo mínima información de recuperación para ser mantenida la transacción en cualquiera de los dos terminales.

Las operaciones de programación de otro lado, esperan una comunicación orientada a la conexión, es decir, las máquinas de origen y de destino establecen un canal de comunicaciones antes de transferir datos.

Este tipo de operaciones son implementadas de diferentes maneras por las diversas variantes de MODBUS (Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus PLUS).

Un socket es una abstracción proporcionada por el sistema operativo que permite a un programa de aplicación acceder los protocolos TCP/IP.

Modbus/TCP maneja ambas situaciones. Una conexión es inicialmente establecida en esta capa de protocolo (nivel de aplicación), y esa conexión única puede llevar múltiples transacciones independientes.

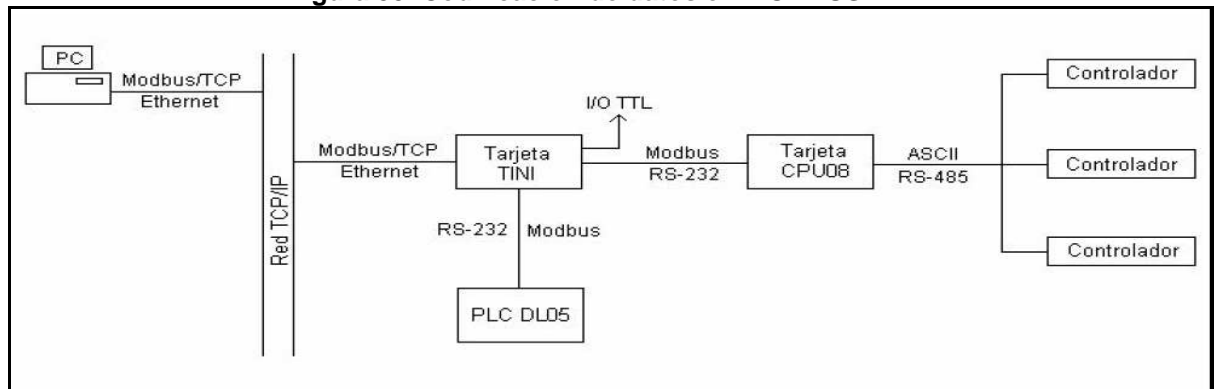
En adición, TCP permite establecer un gran número de conexiones concurrentes, de este modo el cliente (maestro) puede ya sea re-usar una conexión previamente establecida ó crear una nueva, en el momento de realizar una transacción de datos.

Es interesante analizar porqué el protocolo TCP orientado a la conexión es usado en lugar del protocolo UDP10 orientado a datagramas. La principal razón es mantener control de una transacción individual encerrándola en una conexión la cual pueda ser identificada, supervisada y cancelada sin requerir acción específica de parte de las aplicaciones cliente y servidor. Esto da al mecanismo una amplia tolerancia a cambios del desempeño de la red y permite que herramientas de seguridad tal como firewalls y proxies puedan ser fácilmente añadidos.

### **Codificación de datos.**

MODBUS usa una representación big-endian para direcciones y datos. Esto significa que cuando una cantidad numérica más grande que un byte es transmitido, el byte más significativo es enviado primero. Así, por ejemplo: 0x1234 será 0x12 0x34

**Figura 33. Codificación de datos en MODBUS**



**Fuente. Autor**

### **VENTAJAS DEL PROTOCOLO MODBUS/TCP**

- Es escalable en complejidad. Un dispositivo el cual tiene solo un propósito simple necesita solo implementar uno ó dos tipos de mensaje.
- Es simple para administrar y expandir. No se requiere usar herramientas de configuración complejas cuando se añade una nueva estación a una red Modbus/TCP.
- No es necesario equipo o software propietario de algún vendedor. Cualquier sistema computador ó microprocesador con una pila de protocolos TCP/IP puede usar Modbus/TCP.
- Puede ser usado para comunicar con una gran base instalada de dispositivos MODBUS, usando productos de conversión los cuales no requieren configuración.
- Es de muy alto desempeño, limitado típicamente por la capacidad del sistema operativo del computador para comunicarse. Altas ratas de transmisión son fáciles de lograr sobre una estación única, y cualquier red puede ser construida para lograr tiempos de respuesta garantizados en el rango de milisegundos.

## **6.5 COMUNICACIONES DE DATOS**

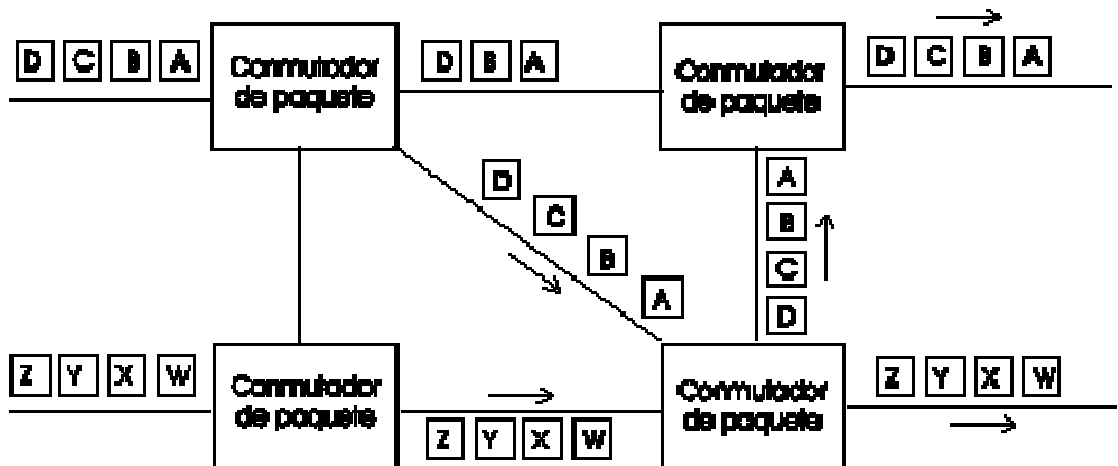
### **6.5.1 Conmutación De Paquetes**

La conmutación es una técnica que nos sirve para hacer un uso eficiente de los enlaces físicos en una red de computadoras. Si no existiese una técnica de conmutación en la comunicación entre dos nodos, se tendría que enlazar en forma de malla. Una ventaja adicional de la conmutación de paquetes, (además de la seguridad de transmisión de datos) es que como se parte en paquetes el mensaje, éste se está ensamblando de una manera más rápida en el nodo destino, ya que se están usando varios caminos para transmitir el mensaje, produciéndose un fenómeno conocido como "transmisión en paralelo". Además, si un mensaje tuviese un error en un bit de información, y estuviésemos usando la conmutación de mensajes, tendríamos que retransmitir todo el mensaje; mientras que con la conmutación de paquetes solo hay que retransmitir el paquete con el bit afectado, lo cual es mucho menos problemático. Lo único negativo, quizás, en el esquema de la conmutación de paquetes es que su encabezado es más grande.

La conmutación de paquetes se trata del procedimiento mediante el cual, cuando un nodo quiere enviar información a otro lo divide en paquetes. Cada paquete es enviado por el medio con información de cabecera. En cada nodo intermedio por el que pasa el paquete se detiene el tiempo necesario para procesarlo.

En síntesis, una red de conmutación de paquetes consiste en una "malla" de interconexiones facilitadas por los servicios de telecomunicaciones, a través de la cual los paquetes viajan desde la fuente hasta el destino.

Figura 34. Principio de conmutación de paquetes



Fuente. <http://www.lcc.uma.es>, Octubre 2007

## 6.6 REDES DE COMUNICACIONES

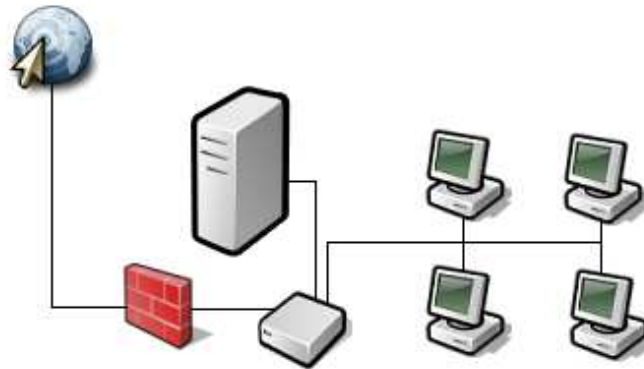
Se denomina red de computadores una serie de host (terminales) autónomos y dispositivos especiales intercomunicados entre sí. Ahora bien, este concepto genérico de red incluye multitud de tipos diferentes de redes y posibles configuraciones de las mismas, por lo que desde un principio surgió la necesidad de establecer clasificaciones que permitieran identificar estructuras de red concretas.

### 6.6.1 Redes LAN

Las redes de área local (Local Área Network) son redes de ordenadores cuya extensión es del orden de entre 10 metros a 1 kilómetro. Son redes pequeñas, habituales en oficinas, colegios y empresas pequeñas, que generalmente usan la tecnología de broadcast, es decir, aquella en que a un sólo cable se conectan todas las máquinas. Como su tamaño es restringido, el peor tiempo

de transmisión de datos es conocido, siendo velocidades de transmisión típicas de LAN las que van de 10 a 100 Mbps (Megabits por segundo).

**Figura 35. Red LAN**

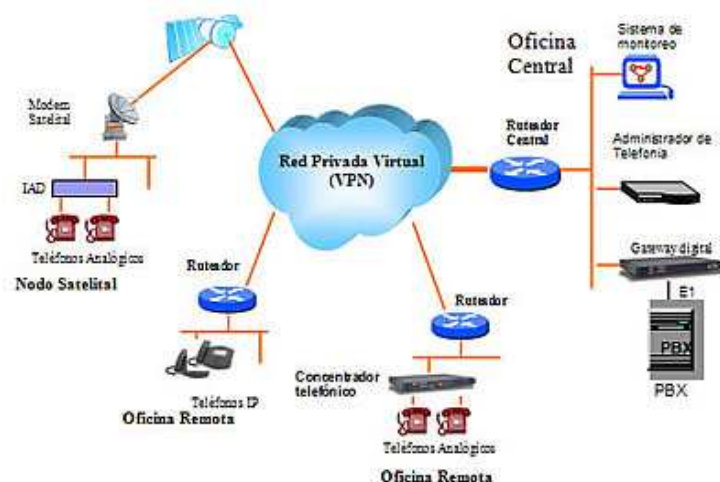


**Fuente.** <http://www.codigo23.ne>, Octubre 2007

### **6.6.2 Redes MAN**

Las redes de área metropolitana (Metropolitan Area Network) son redes de ordenadores de tamaño superior a una LAN, soliendo abarcar el tamaño de una ciudad. Son típicas de empresas y organizaciones que poseen distintas oficinas repartidas en un mismo área metropolitana, por lo que, en su tamaño máximo, comprenden un área de unos 10 kilómetros.

**Figura 36. Red MAN**

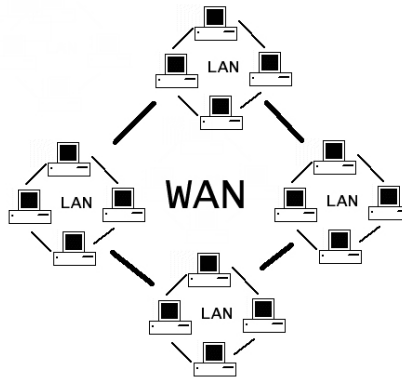


**Fuente.** <http://www.sictel.com>, Octubre 2007

### 6.6.3 Redes WAN

Las redes de área amplia (Wide Área Network) tienen un tamaño superior a una MAN, y consisten en una colección de host o de redes LAN conectadas por una subred. Esta subred está formada por una serie de líneas de transmisión interconectadas por medio de routers, aparatos de red encargados de rutear o dirigir los paquetes hacia la LAN o host adecuado, enviándose éstos de un router a otro. Su tamaño puede oscilar entre 100 y 1000kilómetros.

Figura 37. Red WAN

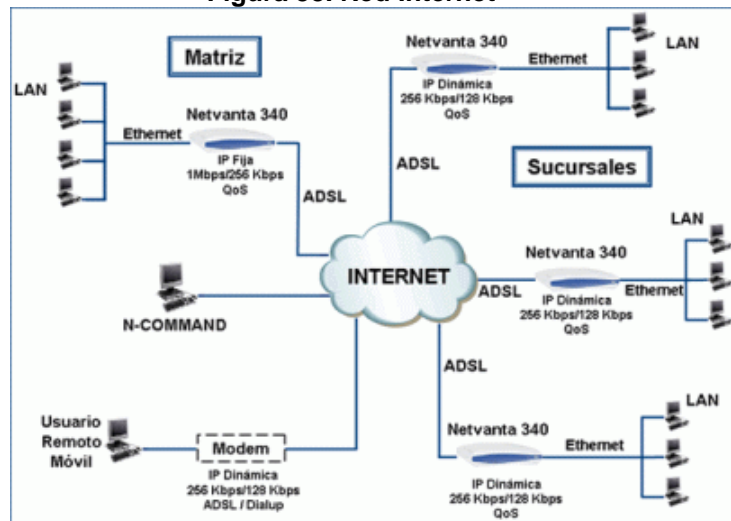


Fuente. <http://wally.cs.iupui.edu>, Octubre 2007

### 6.6.4 Redes Internet

Un internet es una red de redes, vinculadas mediante ruteadores gateways. Un gateway o pasarela es un computador especial que puede traducir información entre sistemas con formato de datos diferentes. Su tamaño puede ser desde 10000 kilómetros en adelante, y su ejemplo más claro es Internet, la red de redes mundial.

Figura 38. Red Internet

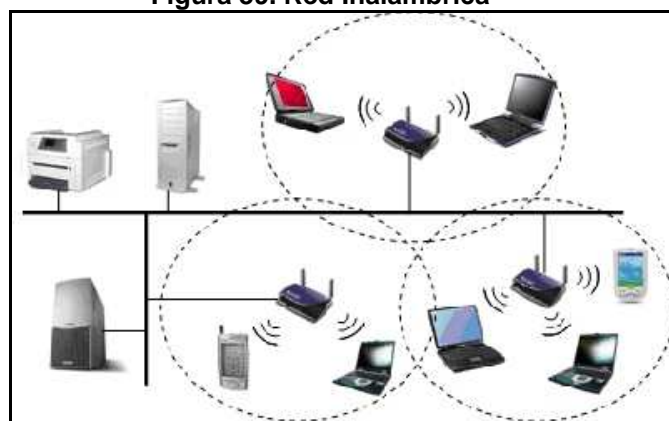


Fuente. <http://www.tele-comunicaciones.com.mx>, Octubre 2007

### 6.6.5 Redes inalámbricas

Las redes inalámbricas son redes cuyos medios físicos no son cables de cobre de ningún tipo, lo que las diferencia de las redes anteriores. Están basadas en la transmisión de datos mediante ondas de radio, microondas, satélites o infrarrojos.

Figura 39. Red Inalámbrica



Fuente. <http://zaretix.files.wordpress.com>, Octubre 2007

## 6.7 PROTOCOLOS DE RED

Podemos definir un protocolo como el conjunto de normas que regulan la comunicación (establecimiento, mantenimiento y cancelación) entre los distintos componentes de una red informática. Existen dos tipos de protocolos: protocolos de bajo nivel y protocolos de red.

Los protocolos de bajo nivel controlan la forma en que las señales se transmiten por el cable o medio físico.

Los protocolos de red organizan la información (controles y datos) para su transmisión por el medio físico a través de los protocolos de bajo nivel. Veamos algunos de ellos:

- IPX/SPX
- NetBIOS
- NetBEUI
- AppleTalk
- TCP/IP

### 6.7.1 EL MODELO OSI ("OPEN SYSTEMS INTERCONNECTION")

**Tabla 3. Modelo OSI**

<b>Nivel de aplicación</b>	Inicia o acepta una petición
<b>Nivel de presentación</b>	Añade información de formato, presentación y cifrado al paquete de datos
<b>Nivel de sesión</b>	Añade información del flujo de tráfico para determinar cuándo se envía el paquete
<b>Nivel de transporte</b>	Añade información para el control de errores
<b>Nivel de red</b>	Se añade información de dirección y secuencia al paquete
<b>Nivel de enlace de datos</b>	Añade información de comprobación de envío y prepara los datos para que vayan a la conexión física

<b>Nivel físico</b>	El paquete se envía como una secuencia de bits
---------------------	------------------------------------------------

**Fuente. Autor**

Este modelo fue desarrollado por OSI ("*International Organization of Standardization*") como una arquitectura para comunicaciones entre computadores con el objetivo de ser un protocolo estándar. OSI considera siete capas.

**Figura 40. Modelo OSI**



**Fuente. <http://www.creangel.com>, Octubre 2007**

### **6.7.2 MODELO DoD**

La arpanet era una red de investigación patrocinada por el DoD (Departamento de Defensa de Estados Unidos). Al final conectó a cientos de universidades e instalaciones del gobierno usando las líneas telefónicas rentadas. A medida que la red fue creciendo, se añadieron a ella redes de satélites y radio, es aquí cuando los protocolos existentes tuvieron problemas para interactuar con este tipo de redes, de modo que se necesitó una arquitectura de referencia nueva. La nueva arquitectura, capaz de conectar entre sí a múltiples redes fue uno de los principales objetivos en su diseño, esta arquitectura se popularizó después como el modelo de referencia TCP/IP. Debido a la preocupación del DoD por que algunos de sus costosos nodos, enrutadores o pasarelas de interredes

podieran ser objeto de un atentado en cualquier momento, otro de los objetivos a la hora de su diseño fue que la red fuera capaz de sobrevivir a la pérdida del hardware de subred sin que las conexiones permanecieran intactas mientras las máquinas de origen y destino estuvieran funcionando, aún si alguna de las máquinas o líneas de transmisión dejaran de funcionar repentinamente.

**Figura 41. Modelo DoD**



**Fuente. <http://es.geocities.com>, Octubre 2007**

## **6.8 ENLACES DE DATOS**

### **6.8.1 Topología de red**

La arquitectura o topología de red es la disposición física en la que se conectan los nodos de una red de ordenadores o servidores, mediante la combinación de estándares y protocolos.

Define las reglas de una red y cómo interactúan sus componentes. Estos equipos de red pueden conectarse de muchas y muy variadas maneras. La conexión más simple es un enlace unidireccional entre dos nodos. Se puede añadir un enlace de retorno para la comunicación en ambos sentidos. Los

cables de comunicación modernos normalmente incluyen más de un cable para facilitar esto, aunque redes muy simples basadas en buses tienen comunicación bidireccional en un solo cable.

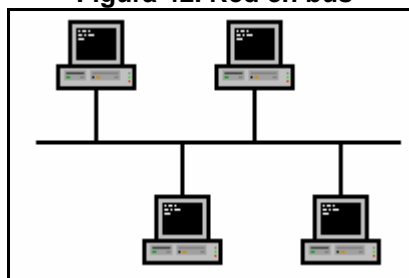
- **Red de Bus**

Topología de red en la que todas las estaciones están conectadas a un único canal de comunicaciones por medio de unidades interfaz y derivadores. Las estaciones utilizan este canal para comunicarse con el resto. Es la más sencilla por el momento.

La topología de bus tiene todos sus nodos conectados directamente a un enlace y no tiene ninguna otra conexión entre nodos. Físicamente cada host está conectado a un cable común, por lo que se pueden comunicar directamente, aunque la ruptura del cable hace que los hosts queden desconectados.

La topología de bus permite que todos los dispositivos de la red puedan ver todas las señales de todos los demás dispositivos, lo que puede ser ventajoso si desea que todos los dispositivos obtengan esta información. Sin embargo, puede representar una desventaja, ya que es común que se produzcan problemas de tráfico y colisiones, que se pueden paliar segmentando la red en varias partes. Es la topología más común en pequeñas LAN, con hub o switch final en uno de los extremos.

**Figura 42. Red en bus**

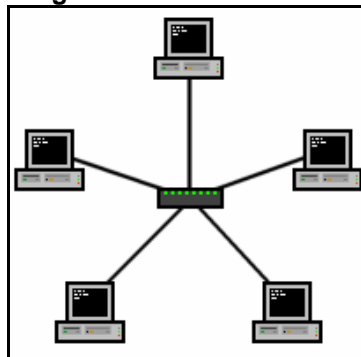


**Fuente. <http://upload.wikimedia.org>, Octubre 2007**

- **Red en estrella**

Una red en estrella es una red en la cual las estaciones están conectadas directamente a un punto central y todas las comunicaciones se han de hacer necesariamente a través de este. Todas las estaciones están conectadas por separado a un centro de comunicaciones, concentrador o nodo central, pero no están conectadas entre sí. Esta red crea una mayor facilidad de supervisión y control de información ya que para pasar los mensajes deben pasar por el hub o concentrador, el cual gestiona la redistribución de la información a los demás nodos. La fiabilidad de este tipo de red es que el malfuncionamiento de un ordenador no afecta en nada a la red entera, puesto que cada ordenador se conecta independientemente del hub, el costo del cableado puede llegar a ser muy alto. Su punto fuerte consta en el hub, ya que es el que sostiene la red en uno, y es el elemento que parte.

**Figura 43. Red en estrella**



**Fuente. <http://upload.wikimedia.org>, Octubre 2007**

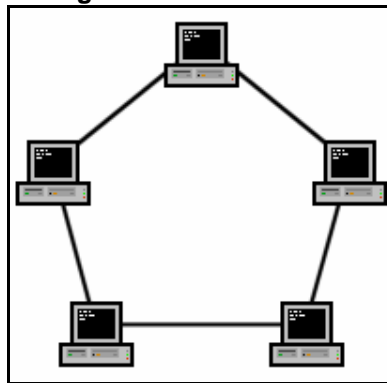
Cabe destacar que cuando se utiliza un hub o concentrador como punto central en una topología de estrella, se dice que la red funciona con una topología de bus lógico, ya que el hub enviará la información a través de todos sus puertos haciendo q todos los hosts conectados reciban la información (incluso cuando no está destinada a ellos). Actualmente se han sustituido los hubs o concentradores, por switches o conmutadores. Creando así una topología en estrella tanto física como lógica debido a las propiedades de segmentación y

acceso al medio que nos ofrecen estos dispositivos capa 2. En su mayoría, las LAN actuales funcionan en topologías de estrella o de estrella extendida.

- **Red en anillo**

Topología de red en la que las estaciones se conectan formando un anillo. Cada estación está conectada a la siguiente y la última está conectada a la primera. Cada estación tiene un receptor y un transmisor que hace la función de repetidor, pasando la señal a la siguiente estación del anillo.

**Figura 44. Red en anillo**



**Fuente. <http://upload.wikimedia.org>, Octubre 2007**

En este tipo de red la comunicación se da por el paso de un token o testigo, que se puede conceptualizar como un cartero que pasa recogiendo y entregando paquetes de información, de esta manera se evitan eventuales pérdidas de información debidas a colisiones.

Cabe mencionar que si algún nodo de la red se cae (término informático para decir que esta en mal funcionamiento o no funciona para nada) la comunicación en todo el anillo se pierde.

En un anillo doble, dos anillos permiten que los datos se envíen en ambas direcciones. Esta configuración crea redundancia (tolerancia a fallos), lo que significa que si uno de los anillos falla, los datos pueden transmitirse por el otro.

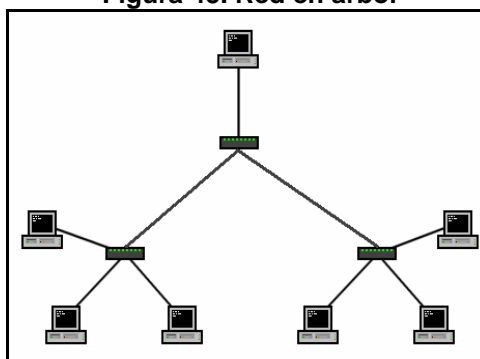
- **Red en árbol**

Topología de red en la que los nodos están colocados en forma de árbol. Desde una visión topológica, la conexión en árbol es parecida a una serie de redes en estrella interconectadas salvo en que no tiene un nodo central. En cambio, tiene un nodo de enlace troncal, generalmente ocupado por un hub o switch, desde el que se ramifican los demás nodos. Es una variación de la red en bus, la falla de un nodo no implica interrupción en las comunicaciones. Se comparte el mismo canal de comunicaciones.

El enlace troncal es un cable con varias capas de ramificaciones, y el flujo de información es jerárquico. Conectado en el otro extremo al enlace troncal generalmente se encuentra un host servidor.

La topología en árbol puede verse como una combinación de varias topologías en estrella. Tanto la de árbol como la de estrella son similares a la de bus cuando el nodo de interconexión trabaja en modo difusión, pues la información se propaga hacia todas las estaciones, solo que en esta topología las ramificaciones se extienden a partir de un punto raíz (estrella), a tantas ramificaciones como sean posibles, según las características del árbol.

**Figura 45. Red en árbol**



**Fuente. <http://upload.wikimedia.org>, Octubre 2007**

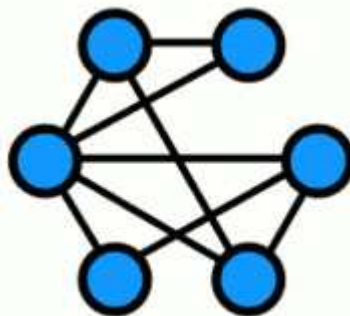
Los problemas asociados a las topologías anteriores radican en que los datos son recibidos por todas las estaciones sin importar para quien vayan dirigidos.

Es entonces necesario dotar a la red de un mecanismo que permita identificar al destinatario de los mensajes, para que estos puedan recogerlos a su arribo. Además, debido a la presencia de un medio de transmisión compartido entre muchas estaciones, pueden producirse interferencia entre las señales cuando dos o más estaciones transmiten al mismo tiempo.

- **Topología en malla**

La topología en malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más de los otros nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos. Si la red de malla está completamente conectada no puede existir absolutamente ninguna interrupción en las comunicaciones. Cada servidor tiene sus propias conexiones con todos los demás servidores.

**Figura 46. Red en malla**



**Fuente.** <http://intertablet.com>, Octubre 2007

### **6.8.2 Protocolo Estándar**

Un protocolo estándar es un conjunto de reglas que han sido ampliamente usados e implementados por diversos fabricantes, usuarios, y organismos oficiales (e.g. IEEE, ISO, ITU). Idealmente, un protocolo estándar debe permitir a las computadoras o dispositivos comunicarse entre sí, aún cuando estos sean de diferentes fabricantes. Las computadoras o dispositivos no tienen que usar un protocolo estándar para comunicarse, pero si estos utilizan un

protocolo propietario entonces ellos pueden sólo comunicarse con equipo de su mismo tipo.

Existen muchos protocolos estándares, ninguno de ellos puede ser universal, pero los que son exitosos se están moviendo para cumplir con el modelo de referencia OSI. Los estándares y protocolos asociados con el modelo de referencia OSI están bajo el concepto de Sistemas Abiertos para enlazar literalmente a decenas de computadoras distintas encontradas en oficinas a través del mundo.

### **Funciones básicas de un protocolo**

- **Control De Llamada:** Establecimiento de conexión entre fuente y destino, esta función lleva a cabo el mantenimiento y monitoreo de la conexión y los procedimientos de conexión y desconexión de una llamada, transferencia de datos, videoconferencia, etc.
- **Control De Error:** Verificación y control de errores durante la transmisión a través de algoritmos de verificación y control de error tales VRC, LRC, Checksum, CRC, etc.
- **Control De Flujo:**
  - Manejo de contención de bloques.
  - Regulación del tráfico.
  - Retransmisión de bloques.
  - Convenciones para direccionamiento.
  - Control por pasos y de extremo a extremo (el error puede verificarse en cada paso o al final del enlace depende del algoritmo de control de error)

## 6.9 LAN INDUSTRIALES

### 6.9.1 *Técnicas de Acceso al Medio*

El método de acceso a red es la manera de controlar el tráfico de mensajes por la red. Hay dos métodos de acceso de uso generalizado en redes locales: el acceso por contención, llamado también acceso aleatorio y el acceso determinístico.

Básicamente, el método de acceso por contención permite que cualquier usuario empiece a transmitir en cualquier momento siempre que el camino o medio físico no esté ocupado. En el método determinístico, cada estación tiene asegurada su oportunidad de transmitir siguiendo un criterio rotatorio.

- **Acceso por contención**

Los métodos aleatorios o por contención utilizan redes con topología en bus; su señal se propaga por toda la red y llega a todos los ordenadores. Este sistema de enviar la señal se conoce como broadcast.

El método de contención más común es el CSMA (Carrier Sense Multiple Access) o en castellano Acceso Multiple Sensible a la Portadora. Opera bajo el principio de escuchar antes de hablar, de manera similar a la radio de los taxis. El método CSMA está diseñado para redes que comparten el medio de transmisión. Cuando una estación quiere enviar datos, primero escucha el canal para ver si alguien está transmitiendo. Si la línea esta desocupada, la estación transmite. Si está ocupada, espera hasta que esté libre.

Cuando dos estaciones transmiten al mismo tiempo habrá, lógicamente, una colisión. Para solucionar este problema existen dos técnicas diferentes, que son dos tipos de protocolos CSMA: uno es llamado CA (Collision Avoidance) o Prevención de Colisión y el otro CD (Collision Detection) o Detección de Colisión. La diferencia entre estos dos enfoques se reduce al envío o no de una señal de agradecimiento por parte del nodo receptor:

**Collision Avoidance (CA):** es un proceso en tres fases en las que el emisor:

- Escucha para ver si la red está libre
- Transmite el dato
- Espera un reconocimiento por parte del receptor.

Este método asegura así que el mensaje se recibe correctamente. Sin embargo, debido a las dos transmisiones, la del mensaje original y la del reconocimiento del receptor, pierde un poco de eficiencia. La red EherNet utiliza este método.

**Collision Detection (CD):** Es más sencillo, recuerda al modo de hablar humano. Después de transmitir, el emisor escucha si se produce una colisión. Si no oye nada asume que el mensaje fue recibido. Aunque al no haber reconocimiento, no hay garantía de que el mensaje se haya recibido correctamente. Cuando varias personas mantienen una conversación, puede haber momentos en los que hablen a la vez dos o más personas. La que intenta comunicar, al detectar que su conversación ha colisionado con otra, debe iniciar de nuevo la conversación. La red AppleTalk (Local Talk) de Apple utiliza este método.

Si dos estaciones inician la transmisión simultáneamente se produce una colisión de las señales. La estación emisora, cuando detecta la colisión, bloquea la red para asegurar que todas las estaciones involucradas procesan el envío como erróneo. Entonces, cada estación espera un periodo corto de tiempo fijado aleatoriamente, antes de intentar transmitir de nuevo.

Aunque estos métodos puedan parecer imprecisos son de hecho muy exactos. Bajo condiciones de carga normales, raras veces ocurren colisiones y cuando aparecen, el emisor lo reintentará hasta que envíe su mensaje.

- **Acceso determinístico**

El segundo de los métodos más usados es el de acceso determinístico. El sistema específico (determina) qué estación es la que puede transmitir en cada instante de tiempo.

El método determinístico más usado es- el Token Passing o pasó de testigo. En una red Token Passing una secuencia especial de bits, el testigo, recorre la red de una estación a otra siguiendo un orden predeterminado. Cuando una estación quiere transmitir, espera que le llegue el testigo y lo guarda; envía su mensaje que circula por toda la red hasta volver a la estación emisora, entonces libera el testigo que viaja hasta la siguiente estación de red.

Los sistemas Token Passing están diseñados para resistir fuertes cargas de trabajo. Al ser un sistema ordenado, una red local usando el método Token Passing puede aprovechar el ancho de banda de trabajo hasta en un 90%. En principio, en un sistema con mucho tráfico, los retardos son menores usando métodos de acceso determinístico (Token Passing) que por contención (CSMA/CA-CD). Sin embargo, en un sistema sin mucha carga el método de contención es bastante más rápido y eficaz.

Uno de los factores más importantes que se deben tener en cuenta para evaluar el comportamiento de una red es el número de estaciones. En las redes con acceso determinístico el token (testigo) circula a través de la red, teniendo cada estación derecho a transmitir antes de que se inicie una segunda vuelta. En una red de acceso por contención (aleatorio) el factor crítico será la carga de la red. La degradación del rendimiento es más predecible en una red Token Passing que en una CSMA/CD.

Algunos ejemplos de redes de acceso determinístico son la TokenRing de IBM y la Arcnet de Datapoint.

### **6.9.2 Sistemas *TOKEN BUS***

Token Bus combina la estructura de bus de las redes Ethernet y el sistema de testigo de las Token Ring. El modo de transmisión es el de banda ancha sobre cable coaxial, las velocidades de canal varían entre 1 y 10 Mbps. Este tipo de redes está contemplado por el estándar IEEE 802.4, aunque su uso no está muy extendido.

La red debe ser capaz de transmitir a todos los dispositivos conectados al Bus. Para ello se divide la señal utilizando dos canales de transmisión, uno para la señal de ida y otro para la señal de vuelta. Cuando una señal llega al final de la red por un canal se la remodula (cambio de frecuencia) y se envía por el otro canal de regreso. Esto permite a cualquier estación comunicarse con cualquier otra, independiente de su posición dentro de la red.

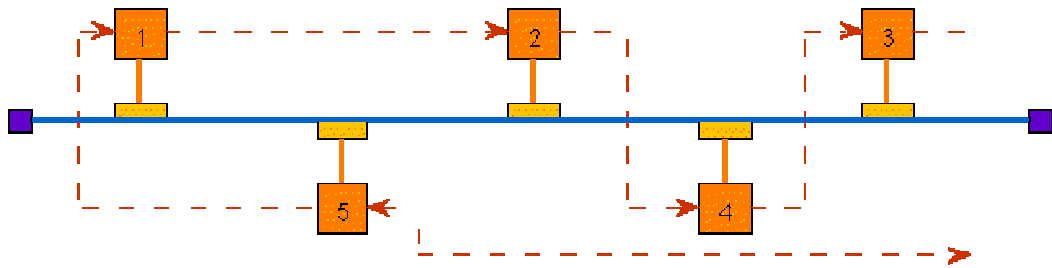
Se utiliza una técnica de paso de testigo sobre una red que no es un anillo físico, pero sí un anillo lógico. Todos los dispositivos tienen una dirección dentro de la red de forma que cada dispositivo transmite a la siguiente dirección lógica del bus.

La utilización de banda ancha requiere un sistema de señalización más complicado y necesita que los dispositivos conectados al bus realicen alguna labor de modulación/demodulación. Además, se necesita que en la cabecera de la red exista un dispositivo encargado de remodular y regenerar las señales para ser enviadas por el canal contrario.

Los beneficios de una red Token Bus son:

- El cableado es más sencillo de instalar que en las redes en anillo.
- Superiores prestaciones que CSMA/CD cuando existen condiciones de alto tráfico.
- El inconveniente principal es que se produce sobrecarga en la red al tener que capturar cada dispositivo el testigo, regenerarlo y tener que enviárselo al siguiente dispositivo.

**Figura 47. TOKEN BUS**



**Fuente.** <http://einstein.informatik.uni-oldenburg.de>, Octubre 2007

## 6.10 EL ESTÁNDAR IEEE 802.X

**Tabla 4 Estándares de redes de área local**

Especificación	Descripción
802.1	Establece los estándares de interconexión relacionados con la gestión de redes.
802.2	Define el estándar general para el nivel de enlace de datos. El IEEE divide este nivel en dos subniveles: los niveles LLC y MAC. El nivel MAC varía en función de los diferentes tipos de red y está definido por el estándar IEEE 802.3.
802.3	Define el nivel MAC para redes de bus que utilizan Acceso múltiple por detección de portadora con detección de colisiones (CSMA/CD, Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection). Éste es el estándar Ethernet.
802.4	Define el nivel MAC para redes de bus que utilizan un mecanismo de paso de testigo (red de área local Token Bus).
802.5	Define el nivel MAC para redes Token Ring (red de área local Token Ring).
802.6	Establece estándares para redes de área metropolitana (MAN, Metropolitan Area Networks), que son redes de datos diseñadas para poblaciones o ciudades. En términos de extensión geográfica, las redes de área metropolitana (MAN) son más grandes que las redes de área local (LAN), pero más pequeñas que las redes de área global (WAN). Las redes de área metropolitana (MAN) se caracterizan, normalmente, por conexiones de muy alta velocidad utilizando cables de fibra óptica u otro medio digital.
802.7	Utilizada por el grupo asesor técnico de banda ancha (Broadband Technical

	Advisory Group).
802.8	Utilizada por el grupo asesor técnico de fibra óptica (Fiber-Optic Technical Advisory Group).
802.9	Define las redes integradas de voz y datos.
802.10	Define la seguridad de las redes.
802.11	Define los estándares de redes sin cable.
802.11b	Ratificado el 16 de Septiembre de 1.999, proporciona el espaldarazo definitivo a la normativa estándar inicial, ya que permite operar a velocidades de 11 Mbps y resuelve carencias técnicas relativas a la falta de itinerancia, seguridad, escalabilidad, y gestión existentes hasta ahora.
802.12	Define el acceso con prioridad por demanda (Demand Priority Access) a una LAN, 100BaseVG-AnyLAN.
802.13	No utilizada.
802.14	Define los estándares de módem por cable.
802.15	Define las redes de área personal sin cable (WPAN, Wireless Personal Área Networks).
802.16	Define los estándares sin cable de banda ancha.

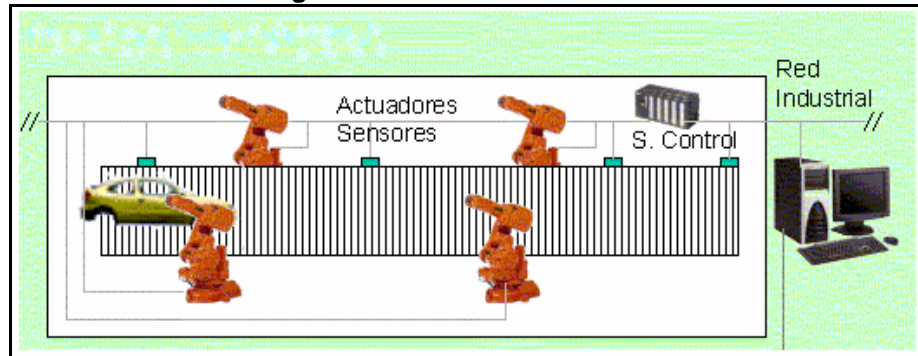
**Fuente. <http://www.inf.udec.c>, Octubre 2007**

## **6.11 REDES INDUSTRIALES**

Si se clasifican las redes industriales en diferentes categorías basándose en la funcionalidad, se hará en, Buses, Actuadores y Sensores.

Inicialmente es usado un sensor y un bus actuador en conexión simple, dispositivos discretos con inteligencia limitada, como un foto sensor, un switch limitador o una válvula solenoide, controladores y consolas terminales.

**Figura 48. Instalación Industrial**



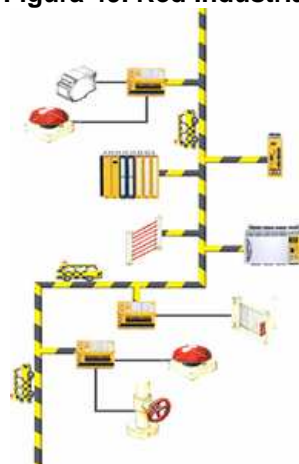
**Fuente. <http://www.uniboyacavirtual.edu.co>, Octubre 2007**

- **Buses de Campo y Dispositivos**

Estas redes se distinguen por la forma como manejan el tamaño del mensaje y el tiempo de respuesta. En general estas redes conectan dispositivos inteligentes en una sola red distribuida.

Estas redes ofrecen altos niveles de diagnóstico y capacidad de configuración, generalmente al nivel del poder de procesamiento de los dispositivos más inteligentes. Son las redes más sofisticadas que trabajan con control distribuido real entre dispositivos inteligentes.

**Figura 49. Red Industrial**



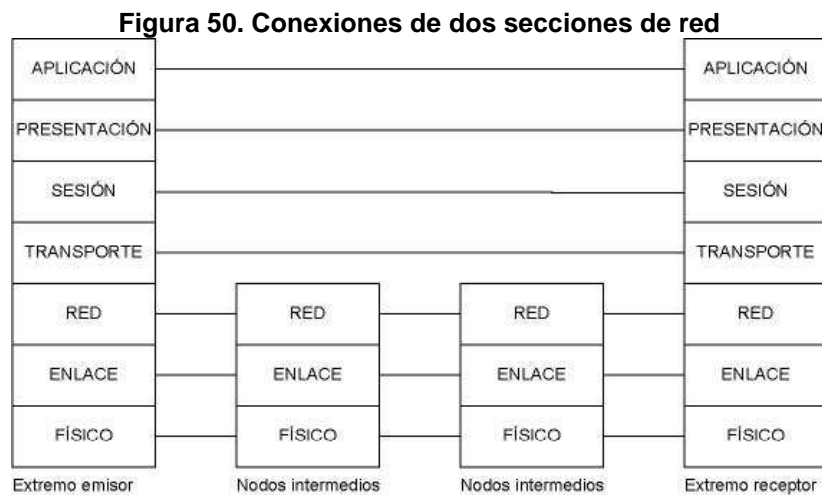
**Fuente. <http://www.bibliotecapleyades.net>, Octubre 2007**

## COMPONENTES DE LAS REDES INDUSTRIALES.

En grandes redes industriales un simple cable no es suficiente para conectar el conjunto de todos los nodos de la red. Deben definirse topologías y diseños de redes para proveer un aislamiento y conocer los requerimientos de funcionamiento.

### - Bridge

Con un puente la conexión entre dos diferentes secciones de red, puede tener diferentes características eléctricas y protocolos; además puede enlazar dos redes diferentes.

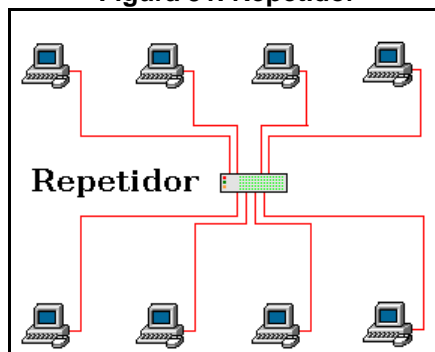


Fuente. <http://w3.cnice.mec.es>, Octubre 2007

### - Repetidor

El repetidor o amplificador es un dispositivo que intensifica las señales eléctricas para que puedan viajar grandes distancias entre nodos. Con este dispositivo se pueden conectar un gran número de nodos a la red; además se pueden adaptar a diferentes medios físicos como cable coaxial o fibra óptica.

**Figura 51. Repetidor**

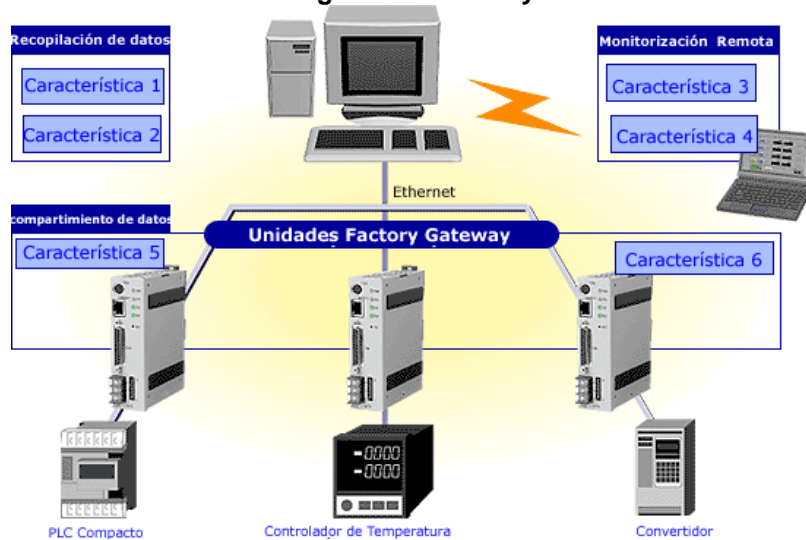


**Fuente.** <http://www.mailxmail.com>, Octubre 2007

**- Gateway**

Un gateway es similar a un puente ya que suministra interoperabilidad entre buses y diferentes tipos de protocolos y además las aplicaciones pueden comunicarse a través de él.

**Figura 52. Gateway**



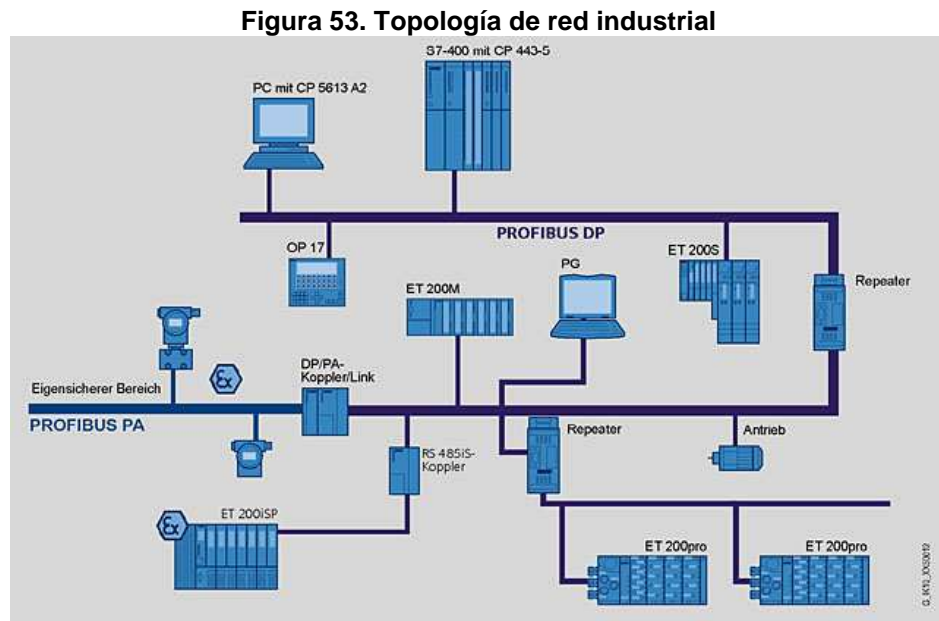
**Fuente.** <http://www.logiteksa.com>, Octubre 2007

**- Enrutadores**

Es un switch "Enrutador" de paquetes de comunicación entre diferentes segmentos de red que definen la ruta.

- **TOPOLOGÍA DE REDES INDUSTRIALES**

Los sistemas industriales usualmente consisten de dos o más dispositivos, como un sistema industrial puede ser bastante grande debe considerarse la topología de la red; las topologías más comunes son: La Red Bus, Red Estrella y Red Híbrida



Fuente. <https://mall.automation.siemens.com>, Octubre 2007

### **BENEFICIOS DE UNA RED INDUSTRIAL**

- Reducción de cableado (físicamente) - Dispositivos inteligentes (funcionalidad y ejecución) - Control distribuido (Flexibilidad).
- Simplificación de cableado de las nuevas instalaciones - Reducción de costo en cableado y cajas de conexión - Aplicable a todo tipo de sistema de manufactura - Incremento de la confiabilidad de los sistemas de producción.
- Optimización de los procesos existentes.

- **REDES INDUSTRIALES CON PLC**

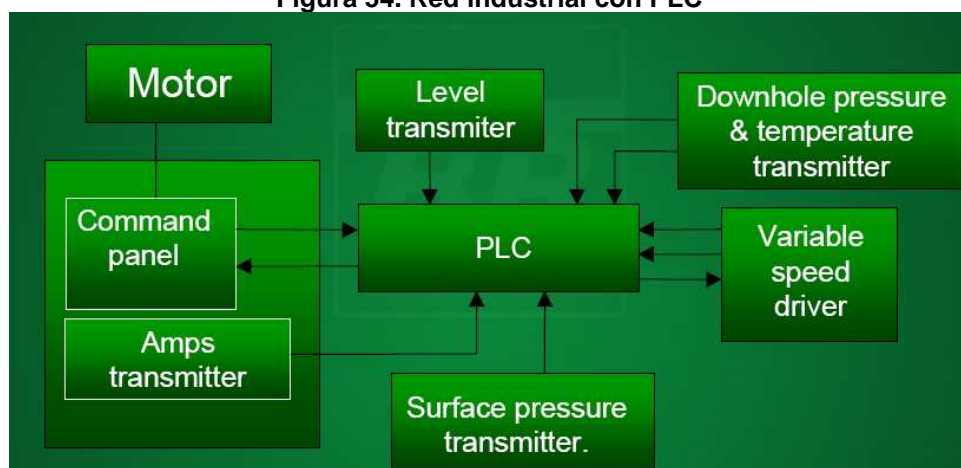
Muchos sistemas están conformados por equipos de diferentes fabricantes y funcionan en diferentes niveles de automatización; además, a menudo se encuentran distanciados entre sí; pero sin embargo, se desea que trabajen en forma coordinada para un resultado satisfactorio del proceso. El objetivo principal es la comunicación totalmente integrada en el sistema. Al usuario, esto le reporta la máxima flexibilidad ya que también puede integrar sin problemas productos de otros fabricantes a través de las interfaces software estandarizadas.

En los últimos años, las aplicaciones industriales basadas en comunicación digital se han incrementado haciendo posible la conexión de sensores, actuadores y equipos de control en una planta de procesamiento.

De esta manera, la comunicación entre la sala de control y los instrumentos de campo se han convertido en realidad.

La Comunicación digital debe integrar la información provista por los elementos de campo en el sistema de control de procesos.

**Figura 54. Red industrial con PLC**



**Fuente. Documentación Petrobrás**

- **SOLUCIONES CON ETHERNET**

Aunque los buses de campo continuarán dominando las redes industriales, las soluciones basadas en Ethernet se están utilizando cada vez más en el sector de las tecnologías de automatización, donde las secuencias de procesos y producción son controladas por un modelo cliente/servidor con controladores, PLC y sistemas ERP (Planificación de los recursos de la empresa), teniendo acceso a cada sensor que se conecta a la red.

La implementación de una red efectiva y segura también requiere el uso de conectores apropiados, disponibles en una amplia variedad y para soluciones muy flexibles.

Los Gateway son dispositivos de capa de transporte; en donde la capa de aplicación no necesariamente es software por lo general las aplicaciones son de audio (alarmas), video (vigilancia), monitoreo y control (sensores), conversión análoga/digital y digital/análoga.

Para la programación de gateway de alto nivel se utiliza el C++ y para la programación menos avanzada se hace con hojas de cálculo. Estos dispositivos pueden ser programados de tal forma que en caso de una emergencia o un simple cambio a otro proceso no se haga manualmente sino realmente automático.

## **6.12 SISTEMAS DE ANTENA**

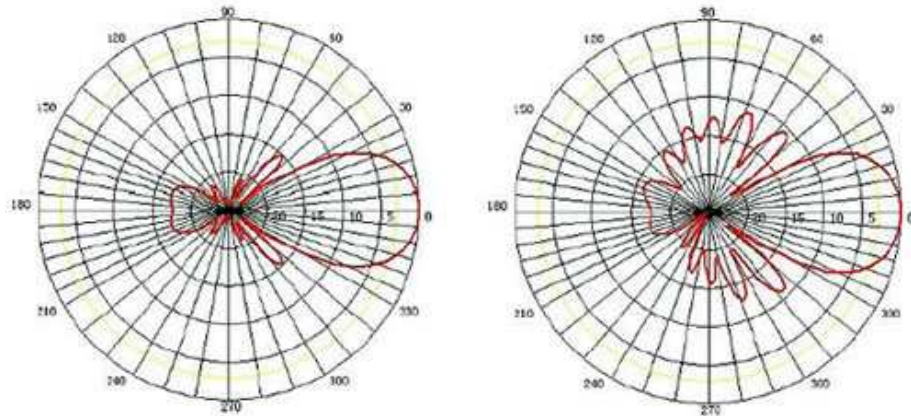
Es importante tener un correcto diseño de los sistemas de antenas de transmisión y recepción porque esta determina la óptima transferencia de energía de una antena a la otra. Algunos de los factores que se deben considerar para lograr un buen diseño son ganancia, directividad, polarización y altura de las antenas sobre la tierra. El aumento de la altura de la antena aumenta la distancia de la línea de vista y reduce los obstáculos en la tierra.

Las ondas de radio son similares a las ondas luminosas que tienen que viajar en línea recta. Sin embargo, las ondas de radio también tienden a refractarse o doblarse mientras que siguen la curvatura de la tierra, ampliando el horizonte de radio más allá del horizonte óptico. Este doblamiento es causado por la tendencia de una onda de radio a viajar más lento mientras la densidad del aire aumenta.

A medida que la distancia entre las antenas transmisoras y receptoras aumenta, la concentración de energía para un área específica disminuye. Por lo tanto, la distancia de la antena transmisora también determina cuánta energía podría interceptar una antena. Esta pérdida de intensidad de la señal debido a la distancia creciente se conoce como atenuación y se expresa en decibelios (db). El alcance de la comunicación se calcula determinándola atenuación del medio y relacionado con la salida de potencia de la antena eléctricamente pequeña, sin embargo las dimensiones reales de una antena son proporcionales a la longitud de onda. Cuanta más alta es la frecuencia, más pequeña es la antena para una longitud de onda dada.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta cuando se elige una antena es la característica de radiación sobre la misma ya que es uno de los parámetros más importantes de la antena. La característica de radiación de una antena representa el cambio de intensidad de un campo magnético en una esfera cuyo centro es la antena radiante. Esta es una representación en tres dimensiones y resulta muy complicada, por lo tanto también se puede hacer una descripción bidimensional que aproxima la forma tridimensional. Entonces se puede decir que la radiación de la antena tiene una forma circular, elíptica, etc.

**Figura 55. Diagrama de radiación de una antena.**



**Fuente. <http://www.vositech.com>, Octubre 2007**

### **6.12.1 Antenas de Radio**

- **Antenas Direccionales**

Una antena direccional proporciona normalmente varios dB de ganancia concentrando la radiación de energía de RF en una sola dirección este tipo de antena reduce al mínimo la interferencia que se pueda representar con otras estaciones. En las frecuencias de VHF, las antenas con ganancias son grandes e incómodas. Sin embargo, en las frecuencias más altas, llegan a ser prácticas. Las antenas con ganancia generalmente se utilizan con aplicaciones de línea de vista.

**Figura 56. Antena Direccional.**



**Fuente. <http://www.superrobotica.com>, Octubre 2007**

- **Antenas Omnidireccionales**

Si la comunicación que se requiere es con estaciones en diversos azimuth, el sistema debe usar una antena omnidireccional, la cual radia 360°.

**Figura 57. Antena Omnidireccional**



**Fuente. <http://www.wimacom.com>, Octubre 2007**

### **6.12.2 Antenas de Microondas**

La antena más común en las microondas es la de tipo parabólico. El tamaño es de diámetro de unos tres metros. Esta antena se fija rígidamente y transmite un haz estrecho que debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora. Las antenas de microondas se sitúan a una altura apreciable sobre el nivel del suelo para conseguir mayores separaciones entre ellas y así lograr salvar posibles obstáculos. Para llevar a cabo transmisiones a larga distancia, se utiliza la concatenación de enlaces punto a punto entre antenas situadas en torres adyacentes, hasta cubrir la distancia deseada.

**Figura 58. Antena Microondas**



**Fuente. <http://www.advicom.ec>, Octubre 2007**

### **6.12.3 Antena Satelital**

Las antenas satelitales mas difundidas presentan la característica fundamental de que las ondas que inciden en la superficie metálica de la antena (reflector), dentro de un ángulo determinado, se reflejan e inciden en un punto donde se concentra la energía electromagnética, denominado foco (a excepción de la antena plana). Allí se coloca el detector (dipolo) correspondiente. Los modelos más importantes son:

- Foco primario.
- Offset.
- Cassegrain.
- Antena plana.

En todos los casos, cuanto mayor sea la superficie reflectora, mayor será la energía que es posible concentrar en la antena; pero también mayor será el costo resultante.

**Figura 59. Antena Satelital**



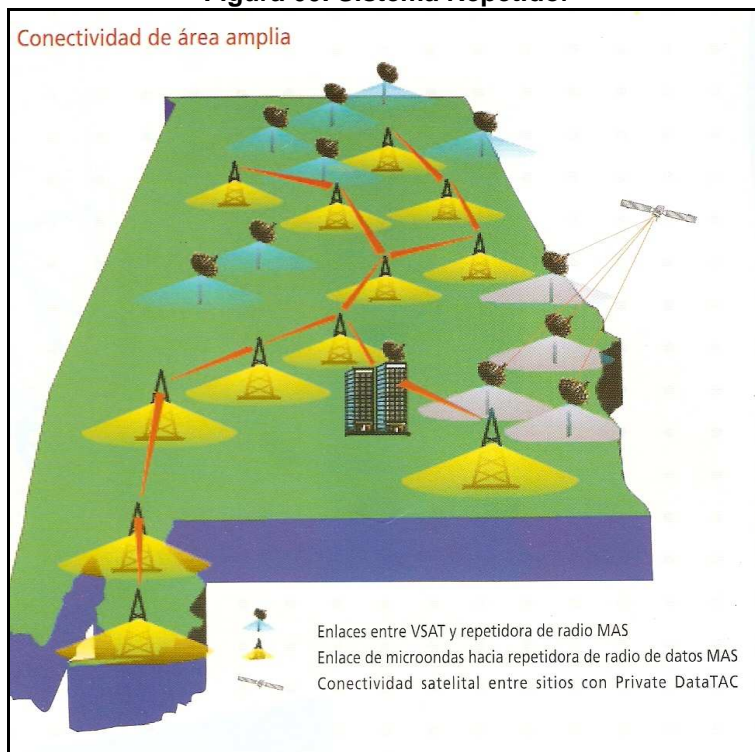
**Fuente. <http://www.tecnomaster.cl>, Octubre 2007**

#### ***6.12.4 Sistema Repetidor***

Un método que se puede utilizar para aumentar el alcance del enlace es agregar un repetidor al sistema. Un repetidor recibe la señal de un sitio remoto y retransmite en otra frecuencia a la base o centro de operación. Los repetidores son herramientas útiles para aumentar los alcances de los enlaces de radio. Algunos sistemas pueden requerir más de un repetidor para lograr el alcance requerido.

En un sistema de telemetría usando un repetidor, la base o centro de operaciones interroga al sitio alejado a través repetidor y después vuelve al modo de repetición. El sitio alejado transmite los datos al repetidor y estos los retransmite a la base. Los sitios remotos generalmente utilizan antenas direccionales con ganancias entre los 6 y 12 dB; en el repetidor se utilizan antenas direccionales si se trata de enlazar un solo remoto o una estación base y antenas omnidireccionales cuando es más de un remoto los que se les transmiten.

**Figura 60. Sistema Repetidor**



**Fuente. Manual de Soluciones SACADA de Motorola**

## **7 NIVEL DE CONTROL**

Una vez que las variables físicas de presión, flujo, temperatura o cualquier otra que se requiere en el proceso, han sido representados en términos de señales de 4 - 20 mA, 1 – 5 V u otro rango de parámetros acordados, de allí sus datos son enviados y procesados en el siguiente nivel, mediante un PLC, una RTU o una combinación de estos dispositivos, el siguiente paso es llevar esta información hasta un centro de supervisión y/o de control donde se muestra todo el proceso mediante paquetes de aplicación de software denominados software de presentación.

La informática, presente en gran medida en nuestra actividad cotidiana, es la ciencia que trata con el manejo de la información digital, una de las aplicaciones es precisamente la elaboración de paquetes de aplicación que estamos hablando. Últimamente con los avances logrados en las telecomunicaciones se ha llegado al concepto de teleinformática como combinación de ambas palabras.

Con el paso del tiempo las telecomunicaciones han tenido un avance acelerado y la forma de comunicación entre dispositivos tanto locales como los ubicados en forma remota, incluso los que están a centenares y miles de kilómetros.

### **7.1 SISTEMA OPERATIVO.**

Un sistema operativo (Operating System) es el conjunto de programas que coordina el funcionamiento de todas las partes de un sistema de informática, desempeñando un papel fundamental en el mismo. Entre las funciones que realizan los sistemas operativos tenemos las siguientes:

- Carga de programa en memoria principal y su ejecución.

- Asignación de recursos: CPU, memoria y periféricos.
- Supervisión continua de la ejecución del programa, incluyendo el borrado de memoria en caso de errores y procedimientos de reinicialización.
- Incremento del rendimiento, mediante el control de las operaciones de E/S.
- Control de las interrupciones de E/S, de llamada a supervisor, de programas, de máquina y externas.
- Operaciones de ficheros: crear, borrar, abrir, cerrar, escribir, leer, avanzar, etc.

Algunos de los sistemas operativos existentes en el mercado son:

- **Familia Windows**

- Windows 95
- Windows 98
- Windows ME
- Windows NT
- Windows 2000
- Windows 2000 server
- Windows XP
- Windows Server 2003
- Windows CE
- Windows Mobile
- Windows XP 64 bits
- Windows Vista (Longhorn)

- **Familia Macintosh**

- Mac OS 7
- Mac OS 8
- Mac OS 9
- Mac OS X

- **Familia UNIX**

- AIX
- AMIX
- GNU/Linux
- GNU / Hurd
- HP-UX
- Irix
- Minix
- System V
- Solaris
- UnixWare

## **7.2 SOFTWARE DE PRESENTACIÓN O INTERFAZ HOMBRE MAQUINA (MMI)**

La función primordial de un software de presentación es la poder representar en forma tabular o grafica los datos o variadores de procesos, de tal forma que sean fácilmente reconocibles y manejables por el operador de la planta, de tal manera que este pueda controlar el proceso y tomar las acciones del caso.

### ***7.2.1 Principales funciones del HMI***

- **Adquisición de datos:** Recoge, procesa y almacena la información recibida.
- **Supervisión:** Visualiza desde un monitor la evolución de las variables de control.
- **Control:** Modificar la evolución del proceso, actuando sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

## **7.3 FUNCIONES ESPECÍFICAS**

### ***7.3.1 Validación de datos.***

Este es un modulo de software que permite recibir, comparar y validar los valores recibidos de campo. Aun cuando esta función muchas veces recae en el software de control del PLC o RTU, se utiliza también en el MMI para prevenir al operador de un dato erróneo o fuera del rango.

### **7.3.2 Despliegues gráficos.**

Usualmente existe un modulo o paquete para la elaboración de dibujos, formas, gráficos, etc, donde se representa pictóricamente la planta y/o variables de sus subsistemas. Muchos MMI permiten la utilización de paquetes convencionales tales como Paint Brush, Story-Board, Autocad, etc. También existen sin embargo algunos, cuyo medio de edición de gráficos viene incorporado y es propio de la compañía fabricante.

En conjunto con este modulo se debe disponer de una aplicación que permita una vez el despliegue, se asocian los campos asignados con las variables, con la base de datos del sistema. De esta forma cuando llega una variable de campo se actualiza la base de datos y este cambio o modificación es mostrado en la pantalla del operador.

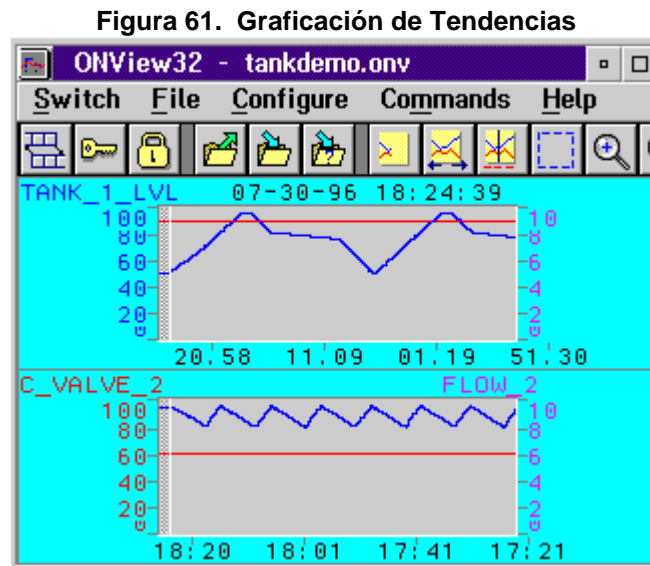
### **7.3.3 Tendencias.**

El recurso de graficacion de tendencias es una función base incluida en cada sistema SCADA. La computadora se puede utilizar para resumir y exhibir los datos que está procesando. Las tendencias (gráficos) de valores analógicos sobre el tiempo son muy comunes. Recoger los datos y resumirlos en informes para los operadores y gerencia son características normales de un sistema SCADA.

El recurso de graficacion de tendencias incluye elementos tales como diagramas X-Y, la capacidad de re-escalar la tendencia mientras es mostrada, la capacidad de visualizar coordenadas para seleccionar una característica en la tendencia y visualizar los valores asociados a ella, histogramas, múltiples valores independientes en una tendencia, y gráficos de información de estado.

El sistema de graficacion de tendencias trabaja normalmente creando un archivo para cada tendencia con "casilleros" para los valores de datos que se renovarán en una frecuencia especificada (máximo ratio de trending). A medida

que se adquieren los datos de campo, se ubican en los archivos de tendencia, quedando disponibles para su posterior análisis. Hay normalmente un límite superior a la cantidad de datos que puedan ser guardados (ejemplo un año de datos).



Fuente. <http://biblioteca.upc.es>, Enero 2008

#### **7.3.4 Históricos.**

Una aplicación muy importante es la de permitir almacenar datos históricos. Dependiendo de la capacidad del disco (o discos) asignados a esta función, se pueden tener datos de días, meses o años anteriores.

La práctica común es guardar los datos instantáneos cada hora. Los datos de las variables horarias cada día y almacenarlos durante un mes. Los datos diarios se guardan cada mes durante un año y los datos mensuales cada año almacenándolos según lo deseado. Naturalmente estos periodos son muy aproximados y varían según la necesidad de cada cliente y sistema.

Figura 62. Historicos

	Ejercicio 2003	Ejercicio 2002	Ejercicio 2001	Ejercicio 2000
INMOVILIZADO	70706.89	70706.89	46560.79	46502.83
GASTOS DE ESTABLECIMIENTO	2422.81	2422.81	2422.81	2422.81
200. GASTOS DE CONSTITUCION	956.67	956.67	956.67	956.67
201. GASTOS DE PRIMER ESTABLECIMIENTO	108.81	108.81	108.81	108.81
202. GASTOS AMPLIACION DE CAPITAL	1357.33	1357.33	1357.33	1357.33
INMOVILIZACIONES INMATERIALES	6639.19	6639.19	6639.20	6639.20
213. FONDO DE COMERCIO	0.00	0.00	0.00	0.00
215. APLICACIONES INFORMATICAS	11572.99	11572.99	11572.99	11572.99
281. AMORTIZACION ACUMULADA DEL	-4933.80	-4933.80	-4933.79	-4933.79
INMOVILIZACIONES MATERIALES	52629.71	52629.71	28473.59	28425.64
222. INSTALACIONES TECNICAS	27395.99	27395.99	3245.89	3245.89
223. MAQUINARIA	10547.62	10547.62	10547.63	10542.03
224. UTILLAJE	12456.42	12456.42	12450.41	12408.05
225. OTRAS INSTALACIONES	5716.60	5716.60	5716.59	5716.59
226. MOBILIARIO	2354.00	2354.00	2354.00	2354.00
227. EQUIPOS PARA PROC. DE	1862.25	1862.25	1862.25	1862.25
228. ELEMENTOS DE TRANSPORTE	4808.10	4808.10	4808.10	4808.10

Fuente. <http://www.autoxuga.net/cursos/15TallerD5.jpg>, Enero 2008

### 7.3.5 Alarmas.

La característica del procesamiento de alarmas se ha asociado siempre a las funciones de las áreas de control de la planta. La computadora procesa todos los datos como vienen del campo, y considera si la variable ha entrado en alarma. Para los valores digitales, uno de los estados (0 o 1) se puede señalar como estado de alarma. Para valores analógicos es normal que se definan límites de alarmas tal que si el valor cae fuera de estos límites, considerarlo como en alarma.

Las alarmas se clasifican normalmente en varios niveles de prioridad, con la prioridad más alta siendo a menudo reservada para las alarmas de seguridad. Esto permite que el operador seleccione una lista de las alarmas más importantes.

Cuando un punto entra en alarma, debe ser validada por el operador. Un código es asociado a veces por el operador en ese momento para explicar la razón de la alarma. Esto ayuda en el análisis posterior de los datos. Es común tener cierto anuncio audible de la alarma, alguna señal sonora en la sala de operaciones.

Un problema común para los sistemas SCADA es la "inundación" de alarmas. Cuando ocurre un trastorno importante del proceso, a menudo un evento de alarma causa otro y así sucesivamente. A menudo en el entusiasmo inicial, los límites de alarma se especifican firmemente, y aún en valores que no son realmente importantes. La inundación de alarmas resultante puede abrumar al personal de operaciones, y ocultar la causa inicial del problema.

### Características

Los recursos de alarmas incluyen la capacidad de identificar al personal de operaciones por su login, y exhibir solamente las alarmas relevantes a su área de responsabilidad, y de suprimir alarmas, por ejemplo, cuando la planta está bajo mantenimiento. Algunos sistemas sofisticados pueden resolver la inundación de alarmas identificando secuencias de causas y efectos.

Figura 63. Sistema de Alarmas



Fuente. <http://www.ingenierway.com>, Enero 2008

## 7.4 MODULOS

### 7.4.1 Modulo de configuración

Permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.

Figura 64. Modulo de Configuración



Fuente. <http://www.santiagoapostol.net/srca/buses/scada.pdf>, Enero 2008

### 7.4.2 Interfaz gráfica del operador

Proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos.

Figura 65. Modulo interfaz grafico del operador

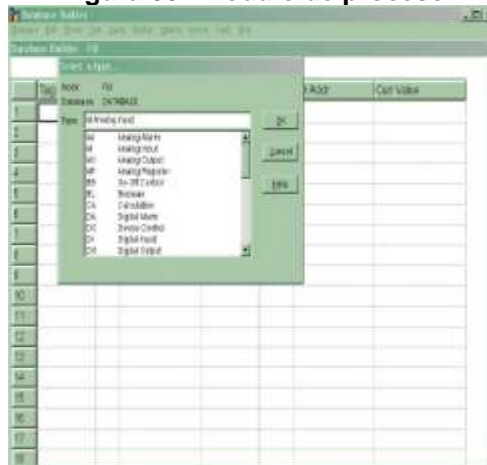


Fuente. <http://www.santiagoapostol.net/srca/buses/scada.pdf>, Enero 2008

### 7.4.3 Módulo de proceso

ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (como C, Basic, etc.).

Figura 66. Módulo de proceso

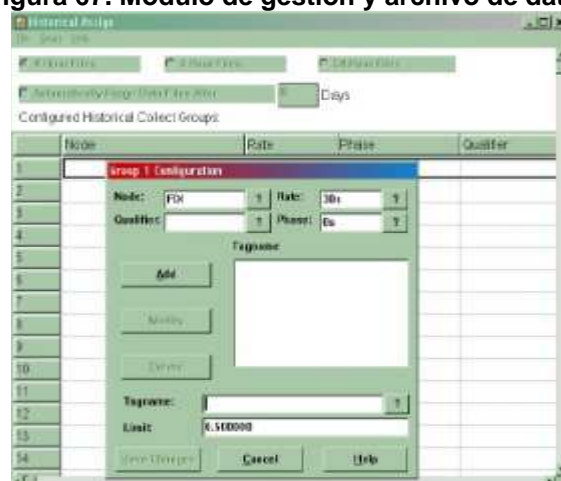


Fuente. <http://www.santiagoapostol.net/srca/buses/scada.pdf>, Enero 2008

### 7.4.4 Gestión y archivo de datos

Se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.

Figura 67. Módulo de gestión y archivo de datos



Fuente. <http://www.santiagoapostol.net/srca/buses/scada.pdf>, Enero 2008

### 7.4.5 Comunicaciones

Se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

Figura 68. Modulo de comunicaciones



Fuente. <http://www.santiagoapostol.net/srca/buses/scada.pdf>, Enero 2008

## 7.5 REQUISITOS DE UN HMI

Una interfaz hombre maquina debe cumplir los siguientes requisitos:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

Existen en el mercado diversas compañías que proveen estos paquetes de aplicación cada uno con su propia tecnología y manera peculiar de manejo. Los más importantes en la industria son:

- Factory Link 7
- Paradym-31
- Virgo 2000
- Wiz Factory
- Genesis32
- Lab View
- Factory Floor Software
- RSView32
- HYBREX (Hybrid Expert System)

## **8 PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS**

La propagación de ondas electromagnéticas por el espacio libre se suele llamar propagación de radiofrecuencia (RF), o simplemente radio propagación. Aunque el espacio libre implica vacío, con frecuencia la propagación por la atmósfera terrestre se llama propagación por el espacio libre, y se puede considerar casi siempre así. La diferencia principal es que la atmósfera de la tierra introduce pérdidas de la señal que no se encuentran en el vacío. Las TEM (ondas electromagnéticas transversales) se propagan a través de cualquier material dieléctrico, incluyendo el aire. Sin embargo, no se propagan bien a través de conductores con pérdidas, como por ejemplo agua de mar, porque los campos eléctricos hacen que fluyan corrientes con el material, que disipan con rapidez la energía de las ondas.

### **8.1 POLARIZACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.**

Una onda electromagnética contiene un campo eléctrico y uno magnético, que forman  $90^\circ$  entre sí. La polarización de una onda electromagnética plana no es más que la orientación del vector de campo eléctrico con respecto a la superficie de la tierra. Si el campo eléctrico se propaga en dirección perpendicular a la superficie terrestre, se dice que la onda está polarizada verticalmente. Si el vector de polarización gira  $360^\circ$  a medida que la onda recorre la longitud de onda por el espacio, y la intensidad de campo es igual en todos los ángulos de polarización, se dice que la onda tiene polarización circular. Cuando la intensidad de campo varía con cambios en la polarización, se dice que tiene polarización elíptica.

## **Rayos y frentes de onda.**

Los conceptos de rayos y frentes de onda son auxiliares para ilustrar los efectos de propagación de ondas electromagnéticas a través del espacio vacío. Un rayo es una línea trazada a lo largo de la dirección de propagación de una onda electromagnética. Los rayos se usan para mostrar la dirección relativa de la propagación de una onda electromagnética; sin embargo, no necesariamente representan la propagación de una sola onda electromagnética.

La mayoría de los frentes de onda son más complicados que los de una simple onda plana. Una fuente puntual es un solo lugar desde el cual se propagan rayos por igual en todas las direcciones; es una fuente isotrópica. El frente de onda generado por una fuente puntual solo es una esfera de radio  $R$ , y su centro está en el punto de origen de las ondas. En el espacio libre, y a una distancia superficial de la fuente, los rayos de una superficie pequeña de un frente de onda esférico son casi paralelos. Por consiguiente, a mayor distancia de la fuente, la propagación de la onda se parece más a la de un frente de onda plano.

### **8.1.1 Radiación electromagnética**

- **Densidad de potencia e intensidad de campo**

Las ondas electromagnéticas representan el flujo de energía en la dirección de la propagación. La rapidez con la que la energía pasa a través de una superficie dada en el espacio libre se llama densidad de potencia. Por consiguiente, la densidad de potencia es la energía por unidad de tiempo y por unidad de área, y se suele expresar en watts por metro cuadrado. La intensidad del campo eléctrico se expresa en voltios por metro, y la del campo magnético en amperes por metro (A/m). La densidad de potencia es:

$$P = E * H (W / m^2)$$

Siendo:  $P$  = Densidad de potencia (watts por metro cuadrado).

$E$  = Intensidad de rms del campo eléctrico (volt por metro).

$H$  = Intensidad rms del campo magnético (amperes por metro).

- **Impedancia característica del espacio libre**

Las intensidades del campo eléctrico y magnético de una onda electromagnética en el espacio libre se relacionan a través de la impedancia característica (resistencia) del espacio vacío. La ecuación de la impedancia característica del espacio libre Z:

$$Z_s = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

En la que:  $Z_s$  = Impedancia característica del espacio libre (ohms)

$\mu_0$  = Permeabilidad magnética del espacio libre,  $1.26 \times 10^{-6}$  H/m

$\epsilon_0$  = Permitividad eléctrica del espacio libre,  $8.85 \times 10^{-12}$  F/m

Al sustituir los valores en la ecuación tenemos:

$$Z_s = \sqrt{\frac{1.26 * 10^{-6}}{8.85 * 10^{-12}}} = 377 \Omega$$

Por consiguiente, al aplicar la ley de ohm se obtiene:

$$P = \frac{E^2}{377} = 377 H^2 (W / m^2)$$

$$H = \frac{E}{377} (A / m)$$

- **Frente de onda esférico**

Muestra una fuente puntual que irradia potencia a una tasa constante y uniformemente en todas direcciones. Esa fuente se llama radiador isotrópico. No existe un radiador realmente isotrópico; sin embargo, se puede aproximar a una antena omnidireccional. Un radiador isotrópico produce un frente de onda esférico cuyo radio es R. todos los puntos que están a la distancia R de la fuente están en la superficie de una esfera, y tienen igual densidad de potencia.

En cualquier momento, la potencia irradiada P watts, esta uniformemente distribuida sobre la superficie total de la esfera. Así, la densidad de potencia en cualquier punto de la esfera es la potencia total irradiada dividida entre el área

total de la esfera. La ecuación que expresa la densidad de potencia en cualquier punto de la superficie de un frente de onda esférico es:

$$P = \frac{P_{rad}}{4\pi R^2}$$

Donde:  $P_{rad}$  = Potencia total irradiada (watts)

$R$  = radio de la esfera, que es igual a la distancia de cualquier punto de la superficie de la esfera de la fuente.

$4\pi R^2$  = Área de la esfera

Y a una distancia  $R_a$  metros de la fuente, la densidad de potencia es

$$P_a = \frac{P_{rad}}{4\pi R_a^2}$$

- **Ley del cuadrado inverso**

Cuanto más lejos va el frente de onda respecto a la fuente, la densidad de potencia es más pequeña. La potencia total distribuida en la superficie de la esfera queda igual. Sin embargo, como el área de la esfera aumenta en proporción directa a la distancia a la fuente elevada al cuadrado, es decir, al radio de la esfera al cuadrado, la densidad de potencia es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente, A esta relación se llama ley del cuadrado inverso. Entonces, la densidad de potencia en cualquier punto de la superficie de la esfera exterior es:

$$P_2 = \frac{P_{rad}}{4\pi R_2^2}$$

Y la densidad en cualquier punto de la esfera interior es:

$$P_1 = \frac{P_{rad}}{4\pi R_1^2}$$

## 8.2 ATENUACIÓN Y ABSORCIÓN DE ONDAS

El espacio libre es el vacío, por lo que no hay pérdida de energía al propagarse una onda por el. Sin embargo, cuando las ondas se propagan por el espacio

vacío, se dispersan y resulta una reducción de la densidad de potencia. A esto se le llama atenuación, y se presenta tanto en el espacio libre como en la atmósfera terrestre. Ya que la atmósfera terrestre no es un vacío, contienen partículas que pueden absorber energía electromagnética este tipo de reducción de potencia se le llama pérdida por absorción, y no se presenta en ondas que viajan fuera de nuestra atmósfera.

- **Atenuación**

A medida que se aleja un frente de onda de la fuente, el campo electromagnético continuo que irradia la fuente se dispersa. Esto es, las ondas se alejan cada vez más entre sí y, en consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor. No se pierde o disipa nada de la potencia irradiada, porque el frente de onda se aleja de la fuente; la onda solo se extiende, o se dispersa, sobre un área mayor y disminuye la densidad de potencia. La reducción de densidad de potencia con la distancia equivale a una pérdida de potencia y se suele llamar atenuación de la onda. La definición matemática es  $\gamma_a$ .

$$\gamma_a = 10 * \log \frac{P_1}{P_2}$$

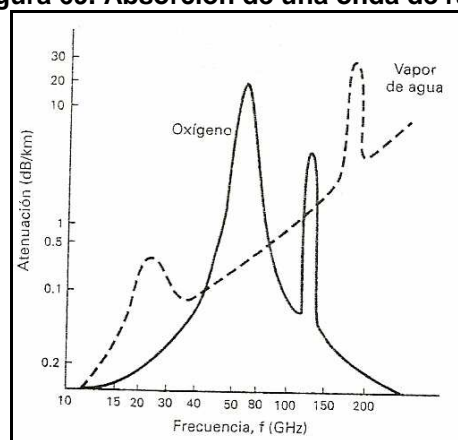
La relación de densidad de potencia debida a la ley del cuadrado inverso supone que la propagación es en el espacio libre: en el vacío o casi en el vacío, y se llama atenuación de onda.

- **Absorción**

La atmósfera terrestre no es un vacío. Mas bien esta formada por átomos y moléculas de diversas sustancias gaseosas, líquidas y sólidas. Algunos de esos materiales pueden absorber las ondas electromagnéticas. La absorción de onda por la atmósfera es análoga a una pérdida de potencia  $I^2R$ . Una vez absorbida, la energía se pierde para siempre, y causa una atenuación en las intensidades de voltaje y campo magnético, y una reducción correspondiente a intensidad de potencia.

La absorción de las radiofrecuencias en una atmósfera normal depende de su frecuencia, y es relativamente insignificante a menos de unos 10 GHz, la figura 64 muestra la absorción atmosférica, en decibeles por kilómetro, debido al oxígeno y vapor de agua, para radiofrecuencias mayores a 10 GHz. Se aprecia que varias frecuencias se afectan más o menos por la absorción, y se producen valles y picos en las curvas. La atenuación de ondas debida a la absorción no depende de la distancia a la fuente de radiación, sino más bien a la distancia total que la onda se propaga a través de la atmósfera.

**Figura 69. Absorción de una onda de radio**



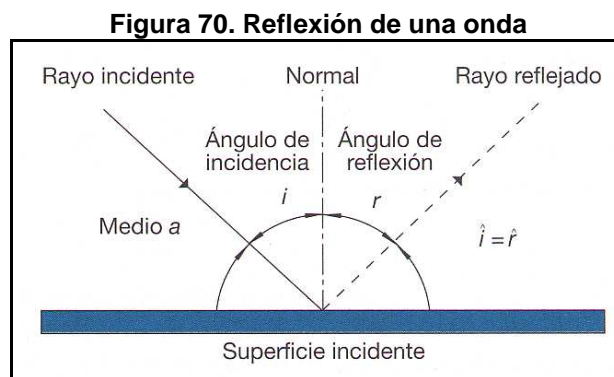
**Fuente. Wayne Tomasi**

### 8.3 Propiedades de las ondas de radio.

Las ondas de radio son idénticas a las ondas de luz excepto por la frecuencia, y debe esperarse que se comporten de forma similar. Su menor frecuencia se asocia con la longitud de onda más larga, y esto repercute en situaciones prácticas. La reflexión y la refracción, se supone que las superficies que intervienen son mucho más grandes que la longitud de onda. Si este no es el caso, ocurre difracción.

### 8.3.1 Reflexión de ondas

En la figura 65 se muestra la reflexión de ondas planas desde una superficie uniforme (*reflexión espectacular*). El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, con ángulos medidos a partir de una línea normal (es decir, perpendicular) a la superficie flectante. En el caso de ondas de radio, la reflexión es completa si el reflector es un conductor ideal. Por supuesto que este no es el caso, y parte de la onda se propaga una corta distancia en un material con pérdida antes de ser absorbida por completo. La reflexión también puede tener lugar a partir de los dieléctricos. Por lo común, parte de la energía se refleja y parte se refracta, pero a veces toda la energía se refleja. Este es en realidad este es un caso especial de refracción, y se considerará en ese contexto.



**Fuente. <http://www.fisica-facil.com>, Octubre 2007**

### 8.3.2 Refracción de ondas

Una transición de un medio a otro a menudo produce una flexión, o refracción, de las ondas de radio, como sucede con la luz. En óptica, los ángulos que intervienen están dados por la ecuación de SNEM:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

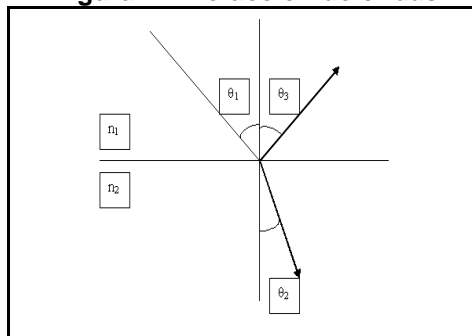
Donde:  $\theta_1$  = ángulo de incidencia

$\theta_2$  = Ángulo de refracción

$N_1$  = índice de refracción en el primer medio

$n_2$ = índice de refracción en el segundo medio.

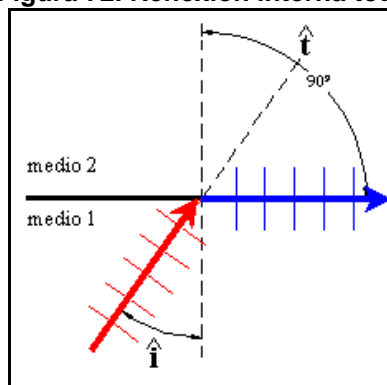
**Figura 71. Refracción de ondas**



**Fuente. <http://www.fisica-facil.com>, Octubre 2007**

En la figura 67 se muestra como se miden los ángulos. Una vez más, se miden desde una línea normal a la superficie y no desde la superficie en si.

**Figura 72. Reflexión interna total**



**Fuente. <http://www.fisica-facil.com>, Octubre 2007**

En casos extremos, donde el ángulo de incidencia es grande y las ondas viajan hacia una región de constante dieléctrica considerablemente mas baja, el ángulo de refracción puede ser mayor de  $90^\circ$ , así que la onda sale del segundo medio y regresa hacia el primero. En estas circunstancias, la refracción de vuelve una forma de reflexión llamada reflexión interna total.

En la figura se muestra un ejemplo. El ángulo de incidencia que origina un ángulo de refracción de exactamente  $90^\circ$  (para que la onda se propague a lo

largo de la frontera entre los dos medios) se conoce como ángulo crítico y está dado por:

$$\theta_c = \arccos\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

## 8.4 FENÓMENOS DE PROPAGACIÓN A FRECUENCIAS DE MICROONDAS

### 8.4.1 *Atenuación y dispersión por lluvia.*

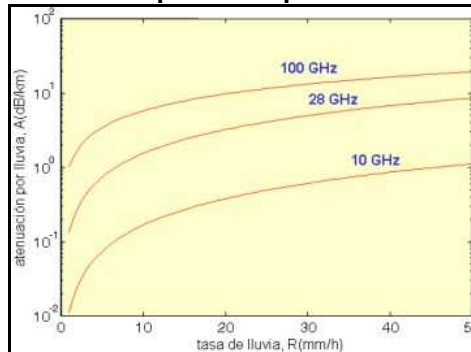
Las ondas de radio que se propagan a través de una región de lluvia se atenúan como consecuencia de la absorción de potencia que se produce en un medio dieléctrico con pérdidas como es el agua. Adicionalmente, también se producen pérdidas sobre la onda transmitida debido a la dispersión de parte de la energía del haz que provocan las gotas de lluvia. No obstante, la atenuación por dispersión es generalmente reducida en comparación con las pérdidas por absorción.

El estudio de los fenómenos de absorción y dispersión producidos por la lluvia se basa en el cálculo de las secciones cruzadas de absorción y dispersión de una gota de lluvia. Este cálculo es sencillo en el caso de una gota esférica de agua de radio no superior a la décima parte de la longitud de onda del campo eléctrico transmitido, y se puede aplicar la teoría de dispersión de Rayleigh de baja frecuencia. Dado que los radios de las gotas de lluvia oscilan desde una fracción de milímetro hasta unos cuantos milímetros, la teoría de dispersión de Rayleigh es generalmente válida para longitudes de onda del orden de 3 cm o de algo menos. Ahora bien, la suposición de gotas esféricas no es válida, dado que las gotas de lluvia se achatan como consecuencia de las presiones y fuerzas aerodinámicas que sufren durante la caída. En cualquier caso, para longitudes de onda elevadas puede considerarse un radio esférico equivalente.

A frecuencias milimétricas sí que resulta importante la forma de la gota, y la determinación de las secciones cruzadas es mucho más compleja y laboriosa.

No obstante, con las modernas técnicas y programas informáticos la limitación no es en el aspecto computacional, sino más bien a la hora de determinar la forma de las gotas de agua, que dependen de su tamaño y de la velocidad de caída.

**Figura 73. Atenuación por lluvia para distintas frecuencias.**



**Fuente.** <http://www.radiooptica.com>, Octubre 2007

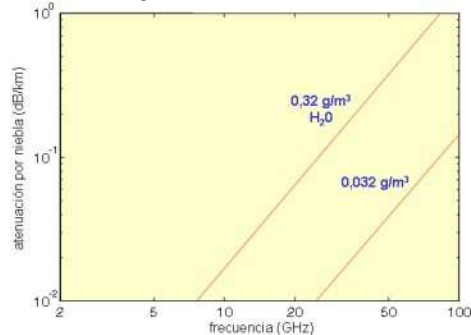
#### **8.4.2 Atenuación por niebla**

La atenuación por niebla de las microondas y de las ondas milimétricas está gobernada por las mismas ecuaciones que en el caso de la lluvia. La principal diferencia es que la niebla puede modelarse como un conjunto de gotas de agua muy pequeñas en suspensión con radios variables entre 0,01 y 0,05 mm.

Para frecuencias por debajo de 300 GHz la atenuación producida por la niebla es linealmente proporcional al contenido total de agua por unidad de volumen para cada frecuencia. Una concentración de 0,032 g/m<sup>3</sup> corresponde a un nivel de niebla que permite visibilidad a unos 700 m. Por otro lado, una concentración de 0,32 g/m<sup>3</sup> permite visibilidad a algo más de 100 m. El nivel máximo de contenido de agua se sitúa en torno a 1 g/m<sup>3</sup>, con densidades considerablemente menores para la mayor parte de las nieblas. En la figura 69 se representa la atenuación por niebla en dB/km en función de la frecuencia y para las dos concentraciones indicadas anteriormente. Para una frecuencia de 100 GHz, la atenuación en el caso de niebla densa es de tan sólo 1 dB/km. Por

lo tanto, en el diseño de radioenlaces con suficiente margen de señal para evitar la atenuación por lluvia, la niebla no constituirá un factor de limitación.

**Figura 74. Atenuación por niebla en función de la frecuencia.**

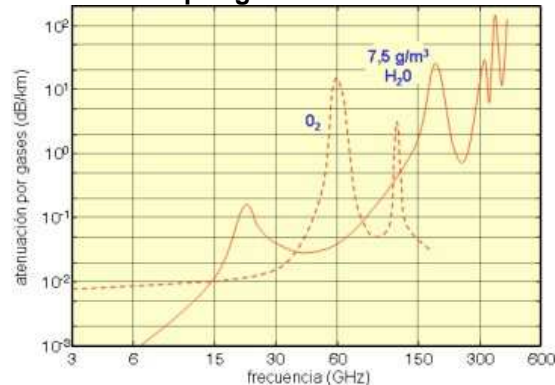


**Fuente.** <http://www.radiooptica.com>, Octubre 2007

### 8.4.3 Atenuación por gases atmosféricos

Los vapores de agua y de oxígeno no condensados poseen líneas de absorción en la banda de frecuencias de microondas y de ondas milimétricas. Por ello existen frecuencias donde se produce una gran atenuación separadas por ventanas de transmisión donde la atenuación es mucho menor. La figura 70 muestra la atenuación en dB/km producida por los vapores de oxígeno y de agua a 20 °C sobre el nivel del mar. El contenido en moléculas de agua es del 1%, el cual es típico en climas templados. A frecuencias por encima de 300 GHz se observa que la atenuación por oxígeno es despreciable en comparación con la del vapor de agua.

**Figura 75. Atenuación por gases en función de la frecuencia.**

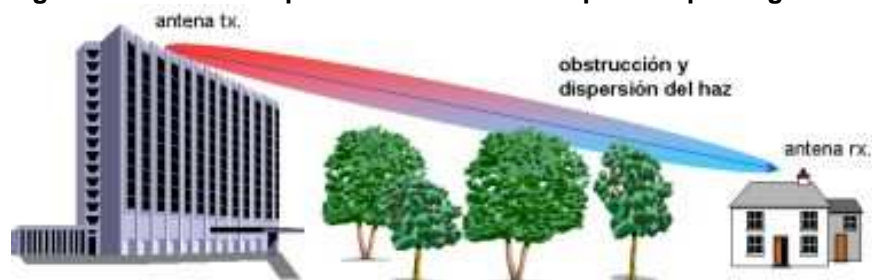


**Fuente.** <http://www.radiooptica.com>, Octubre 2007

#### **8.4.4 Efectos de la vegetación y de las reflexiones de multicamino**

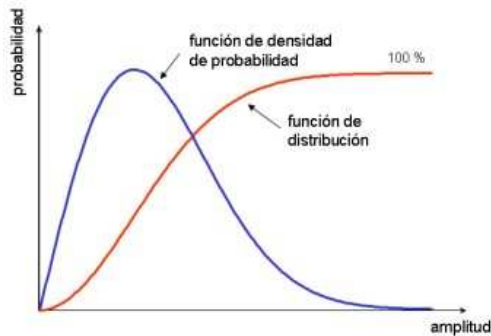
Un factor importante de degradación en sistemas que operan a frecuencias milimétricas, como por ejemplo el servicio LMDS (Local Multipoint Distribution System), lo constituye la vegetación (árboles, arbustos, etc.) existente en las inmediaciones del radioenlace. Estos sistemas se caracterizan por emplear enlaces cortos (2-6 km) con visión directa entre las antenas, pero en ciertas ocasiones el radioenlace puede verse accidentalmente obstruido por árboles o incluso techos de edificios en entornos urbanos, tal y como se muestra en la figura 71. En esta situación, el campo electromagnético presente en la antena receptora puede modelarse como la suma de la onda proveniente directamente del transmisor, y multitud de pequeñas ondas dispersadas por los edificios adyacentes y por las hojas de los árboles cercanos. Dado que las fases de estas ondas son aleatorias, las señales resultantes pueden estimarse mediante análisis estadístico. El resultado final de sumar todas estas pequeñas contribuciones es un proceso Gaussiano cuya amplitud (potencia instantánea) sigue una distribución de Rayleigh (figura 72).

**Figura 76. Situación típica de obstrucción/dispersión por vegetación.**



**Fuente. <http://www.radiooptica.com>, Octubre 2007**

**Figura 77. Funciones de densidad y de distribución de Rayleigh.**



**Fuente. <http://www.radiooptica.com>, Octubre 2007**

Si a continuación se añade la contribución del rayo directo, entonces la estadística de la amplitud de la señal se modela por medio de una distribución de Nakagami-Rice. Esta distribución se caracteriza por dos parámetros que pueden escogerse de diversas formas. Uno de ellos es la potencia de la onda directa (constante) y el otro la potencia de la onda dispersada (valor medio).

Normalmente suelen utilizarse como parámetros la potencia media total y el cociente entre las potencias de las ondas directa y dispersada. Este último parámetro se conoce con el nombre de factor  $k$  y suele expresarse en decibelios.

En realidad, las medidas experimentales difieren en la práctica de los resultados teóricos y presentan cierta variabilidad temporal. Una de las causas puede ser debida a la obstrucción del haz directo por un árbol, el cual no es completamente opaco y permite que parte de la energía lo atraviese.

Posteriormente, el viento mueve las hojas y provoca que el nivel de señal recibida varíe. Suponiendo que el árbol se encuentra a 20 m de la antena receptora y que el enlace mide 250 m, un ancho de haz de  $2,5^\circ$  captaría la energía proveniente de un círculo de alrededor de 1 m de diámetro, y precisamente esta es la amplitud de la zona de Fresnel a esa distancia para una frecuencia de unos 30 GHz.

Por ejemplo, en la tabla 5 se resumen los resultados de pérdidas de propagación para el 99% del tiempo y varias distancias medidas en Northglenn (Colorado). La zona geográfica se caracteriza por un densidad de unas 780 casas por kilómetro cuadrado, una temperatura ambiente de 50,3 °F, un nivel medio de precipitaciones de 15,31 in y presencia de árboles tropicales ("canopy tree").

**Tabla 5 Pérdidas de propagación a 30 GHz.**

Calidad del radioenlace	distancia entre antenas (m)	pérdidas de propagación (dB)
buena	122	111,7
moderada	309	145,9
mala	419	159,4

**Fuente. Autor**

La utilización de herramientas informáticas de trazado de rayos y de modelado de obstáculos a partir de información preliminar sobre la zona reduce la complejidad del diseño del sistema. Sin embargo, la realización de mediciones experimentales es completamente necesaria para validar los modelos y proporcionar confianza a los resultados de las predicciones.

#### **8.4.5 Zona de Fresnel**

Se llama zona de fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética, acústica, etc, y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

Así, la fase mínima se produce para el rayo que une en línea recta emisor y receptor. Tomando su valor de fase como cero, la primera zona de Fresnel abarca hasta que la fase llegue a 180°, adoptando la forma de un elipsoide de revolución. La segunda zona abarca hasta un desfase de 360°, y es un segundo elipsoide que contiene al primero. Del mismo modo se obtienen las zonas superiores.

- **Propagación de ondas**

Tanto en óptica como en comunicaciones por radio o inalámbricas, la zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas. Esto es debido a que toda la primera zona contribuye a la propagación de la onda. Por el contrario, la segunda zona tiene la fase invertida, de modo que su contribución es subtractiva. En general, las zonas impares son positivas, mientras que las pares son negativas.

Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de intensidad de señal recibido. Debiendo considerar la curvatura de la tierra (K), que generalmente puede tomar valores de  $K=2/3$  (peor caso) y  $K=4/3$  (caso óptimo)

En la óptica y comunicaciones por radio, una zona de Fresnel (pronunciada como zona FRA-nel, de origen francés), nombrada en honor del físico Augustin Fresnel, es uno de los elipsoides de revolución concéntricos teóricamente infinitos que definen volúmenes en el patrón de radiación de la abertura circular (generalmente). Fresnel divide resultado en zonas de la difracción por la abertura circular.

La sección transversal de la primera zona de Fresnel es circular. Las zonas subsecuentes de Fresnel son anulares en la sección transversal, y concéntricas con las primeras. El concepto de las zonas de Fresnel se puede también utilizar para analizar interferencia por obstáculos cerca de la trayectoria de una viga (antena) de radio. Esta zona se debe determinar primero, para mantenerla libre de obstrucciones.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el

20%. Para el caso de radiocomunicaciones depende del valor de K (curvatura de la tierra) considerando que para un  $K=4/3$  la primera zona de fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un estudio con  $K=2/3$  se debe tener despejado el 60% de la primera zona de Fresnel.

Para establecer las zonas de Fresnel, primero debemos determinar la línea de vista de RF ("RF LoS", en inglés), que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora. Ahora la zona que rodea el RF LoS es la zona de Fresnel. El radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace. En este punto, el radio  $r$  se puede calcular como sigue:

$$r = 547.723 \sqrt{\frac{d}{4f}}$$

$r$  = radio en metros (m).

$d$  = distancia en kilómetros (km).

$f$  = frecuencia transmitida en megahercios (MHz).

La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r_n = 547.723 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fd}}$$

Donde:

$r_n$  = radio de la  $n$ ésima zona de Fresnel.

$d_1$  = distancia desde el transmisor al objeto en km.

$d_2$  = distancia desde el objeto al receptor en km.

$d$  = distancia total del enlace en km.

$f$  = frecuencia en MHz.

## 8.5 ANTENAS

Una antena es un sistema conductor metálico capaz de irradiar y capturar ondas electromagnéticas. Las antenas son para conectar las líneas, o ambas cosas. En esencia, una línea de transmisión acopla la energía de un transmisor o un receptor con una antena, que a su vez acopla la energía con la atmósfera terrestre, y de la atmósfera terrestre a una línea de transmisión. En el extremo transmisor de un sistema de radiocomunicación con el espacio libre, una antena convierte la energía eléctrica que viaja por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio. En el extremo receptor, una antena convierte las ondas electromagnéticas en el espacio en energía eléctrica en una línea de transmisión.

Una guía de onda es un tipo especial de línea de transmisión formado por un tubo metálico conductor, a través del cual se propaga energía electromagnética. Una guía de onda se usa para interconectar en forma eficiente ondas electromagnéticas entre una antena y un transceptor.

### 8.5.1 Resistencia de radiación

No toda la potencia que se suministra a una antena se irradia. Algo de ella se convierte en calor y se disipa. La resistencia de radiación es un poco irreal, porque no se puede medir en forma directa. La resistencia de radiación es una resistencia de antena a la corriente alterna y es igual a la relación de la potencia irradiada por la antena entre el cuadrado de la corriente en su punto de alimentación. La ecuación que define la resistencia de radiación es.

$$R_r = \frac{P_{rad}}{i^2}$$

Donde  $R_r$  = resistencia de radiación (Ohms)

$P_{rad}$  = potencia irradiada por la antena (watts)

$i$  = corriente en el punto de alimentación de la antena (amperes)

### 8.5.2 Eficiencia de la antena

Es la relación de la potencia irradiada por ella entre la suma de la potencia irradiada y la potencia disipada, o la relación de la potencia irradiada por la antena entre la potencia total de entrada. La ecuación que la define es:

$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{ent}} \times 100$$

Donde

$\eta$  = eficiencia de la antena (porcentaje)

$P_{rad}$  = potencia irradiada (watts)

$P_{ent}$  = potencia de entrada (watts)

O bien

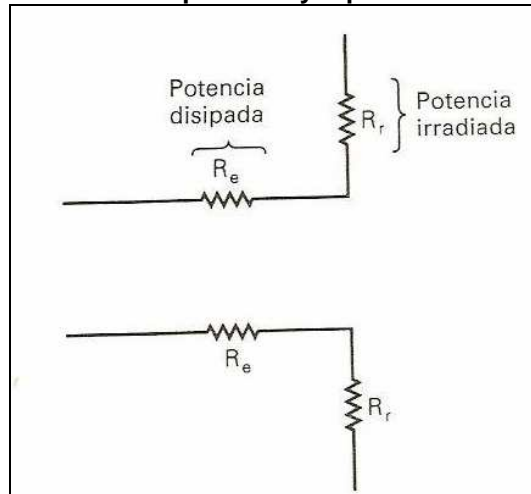
$$\eta = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_d} \times 100$$

Donde  $P_{rad}$  = potencia irradiada (watts)

$P_d$  = potencia disipada en la antena (watts)

La figura 73 muestra un circuito eléctrico simplificado y equivalente a una antena. Algo de la potencia de entrada se disipa en la resistencia efectiva (del suelo, corona, dieléctricos imperfectos, corrientes parasitas, etc.), y el resto se irradia. La potencia total de la antena es la suma de las potencias disipadas e irradiadas. En consecuencia, en termino de resistencia y de corriente. La eficiencia de la antena es

**Figura 78. Circuito simplificado y equivalente de una antena**



**Fuente. Wayne Tomasi**

$$\eta = \frac{i^2 \times R_r}{i^2 (R_r + R_e)} = \frac{R_r}{R_r + R_e}$$

En donde

$\eta$  = eficiencia de la antena (porcentaje)

$i$  = corriente en el punto de alimentación de la antena (amperes)

$R_r$  = resistencia de radiación (ohms)

$R_e$  = resistencia efectiva (ohms)

### **8.5.3 Ganancia directa y ganancia de potencia**

La ganancia directa es la relación de la densidad de potencia irradiada en una dirección particular entre la densidad de potencia irradiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas estén irradiando la misma cantidad de potencia. La grafica de densidad de potencia de potencia de radiación para una antena en realidad es una grafica de ganancia directa, si se toma la referencia de densidad de potencia para una antena normal de referencia, que en general es una antena isotropita. La ganancia directiva se llama directividad. La ecuación de definición es:

$$D = \frac{\rho}{P_{ref}}$$

En donde  $D$  = ganancia directiva (adimensional)

$P$  = densidad de potencia en un punto, con determinada antena  
(watts/m<sup>2</sup>)

$P_{ref}$  = densidad de potencia en el mismo punto, con una antena de  
referencia (watts/m<sup>2</sup>)

La ganancia de potencia es lo mismo que la ganancia directiva, excepto que se usa la potencia total alimentada a la antena; es decir, si se toma en cuenta la diferencia de la antena y que la antena de referencia tiene la misma potencia de entrada y que la antena de referencia no tiene pérdidas ( $\eta = 100\%$ ). La ecuación de potencia.  $A_p$ , es

$$A_p = D\eta$$

Si la antena es sin pérdidas irradia 100% de la potencia de entrada y la ganancia de potencia es igual a la ganancia directiva. La ganancia de potencia de una antena también se expresa en decibelios en relación con una antena de referencia. En este caso la ganancia de potencia es

$$A_{p(dB)} = 10 \log \frac{\rho\eta}{P_{ref}}$$

#### **8.5.4 Potencia isotropica efectiva irradiada**

La potencia isotropica efectiva irradiada (EIRP, por effective isotropic radiated power) se define como la potencia equivalente de transmisión y se expresa como sigue:

$$EIRP = P_{rad} D_t \text{ (watts)} \quad \text{a}$$

Siendo

$P_{rad}$  = potencia total irradiada (watts)

$D_t$  = ganancia directiva de la antena de transmisión (adimensional)

O bien 
$$EIRP_{(dBm)} = 10 \log \frac{P_{rad}}{0.001} + 10 \log D_t \quad b$$

O también 
$$EIRP_{(dBW)} = 10 \log(P_{rad} D_t) \quad c$$

La ecuación (a) se puede escribir en función de la potencia de entrada y la ganancia de la potencia de la antena, como sigue

$$EIRP = P_{ent} A_t \quad d$$

En donde

$P_{ent}$  = potencia total de entrada a la antena (watts)

$A_t$  = ganancia de potencia de la antena de transmisión (adimensional)

O bien 
$$EIRP_{(dBm)} = 10 \log \frac{(P_{ent} A_t)}{0.001} \quad e$$

$$EIRP_{(dBW)} = 10 \log(P_{ent} A_t) \quad f$$

La EIRP es la potencia equivalente que tendría irradiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección elegida y en determinado punto, que otra antena.

Para calcular la densidad de potencia en determinado punto a una distancia  $R$  de la antena transmisora, se puede hacer de la siguiente forma

$$\rho = \frac{P_{ent} A_t}{4\pi R^2} \quad 2a$$

O en términos de ganancia directa

$$\rho = \frac{P_{rad} D_t}{4\pi R^2} \quad 2b$$

Siendo

$\rho$  = densidad de potencia (watts por metro cuadrado)

$P_{ent}$  = potencia total de entrada a la antena de transmisión (watts)


$P_{rad}$  = potencia total irradiada a la antena de transmisión (watts)

$A_t$  = ganancia de potencia de la antena de transmisión (adimensional)

$D_t$  = ganancia directiva de potencia de la antena de transmisión (adimensional)

$R$  = distancia a la antena de transmisión

## 9 MONITOREO DE POZOS REMOTOS EN LOS CAMPOS DE PETROBRÁS

	<p><b>PETROBRAS INTERNATIONAL BRASPETRO B.V. APNS-PINS MONITOREO REMOTO DE POZOS</b></p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Petrobrás se está enfocando en la modernización de sus campos petroleros y para esto ha invertido tiempo y dinero ya que al aplicarle tecnología al campo su producción será mayor y tendrá mejor control de los equipos; Siendo estos los motivos principales por el cual la empresa realiza estudios para encontrar la mejor solución de explotación del hidrocarburo.

El proyecto de monitoreo de pozos remoto surgió bajo una necesidad muy grande, ya que las bombas extractoras generan paradas debido a sus fallas internas, estas se dan gracias a la intervención de los variadores de velocidad, debido a que ellos controlan el motor de las bombas PCP o ESP, además de monitorear algunas señales dentro del pozo como es la presión, la temperatura, entre otras.

El variador al encontrar alguna irregularidad en las señales que maneja ya sea del motor o dentro del pozo; genera las paradas para prevenir algún daño o accidente que un exceso o disminución de los límites de umbrales pueda causar.

Otro inconveniente en campo son los operadores, debido a que es el personal encargado de monitorear los pozos tomando registros escritos de cada uno,

desplazándose hasta la ubicación de estos, los cuales se encuentran en lugares alejados de la estación y se encuentran dispersos en toda la zona, esto causa un monitoreo poco efectivo ya que mientras se desplaza a tomar registro de un pozo, se puede estar generando un inconveniente en otro.

Debido a esto, surge la necesidad de un control mas efectivo y la mejor opción es hacer un monitoreo de pozos mediante algún tipo de tecnología, los ingenieros a cargo del proyecto estudiaron varias alternativas para definir la mas confiable y la mas viable para la empresa.

Para el correcto manejo de un proyecto y obtener los resultados deseados, se debe llevar una secuencia adecuada para encajar la solución en la necesidad planteada al inicio, y así cumplir con el alcance esperado. Para el desarrollo de un proyecto se recomienda llevar la siguiente secuencia

- **Identificación del problema:**

En esta fase se determina cuál es el problema que se quiere resolver, a quienes afecta, y cuál es la nueva situación que queremos alcanzar con nuestra actuación. Además, se concreta el modo en que vamos a lograrlo y se valoran las posibilidades de ello. Todos estos aspectos dependen de la realización de un buen diagnóstico de la situación problemática inicial.

- **Diseño o formulación del proyecto**

Después de que se identifica la situación que se quiere modificar, los objetivos que se desean alcanzar y los recursos necesarios para lograrlo se inicia la fase de diseño o formulación del proyecto. En general, se trata de una fase en la que se organiza y formaliza la información obtenida en la fase previa. En esta fase se establece el presupuesto y el cronograma del proyecto y se analiza la calidad del diseño del proyecto.

Al finalizar esta fase se obtiene el documento escrito del proyecto para iniciar su gestión o la consecución de los recursos para su ejecución. Es de anotar que este documento puede ser modificado tantas veces como sea necesario hasta obtener la mejor versión. El documento del proyecto debe contener una descripción detallada de los objetivos, los actores y los recursos.

#### • **Ejecución del proyecto**

Cuando se ha obtenido financiación para el proyecto comienza la fase de ejecución. En ella se trata de llevar a la práctica lo previsto en las anteriores fases. La fase de ejecución es la intervención transformadora de la realidad o situación que inicialmente se consideró insatisfactoria o problemática. Por tanto, requiere de capacidad para programar, gestionar y coordinar las actividades y llevar a cabo las decisiones de manera acertada. En esta fase se diseñan los planes operativos y se clarifican las funciones y roles de cada uno de los participantes en el proyecto, es una fase en la que la buena comunicación entre las partes se convierte en una fortaleza para el proyecto y en garantía de éxito para el mismo.

Los planes operativos pueden elaborarse para todo el período de ejecución en su conjunto o, para cada una de las etapas en que se ha dividido el proyecto. En cualquiera de los casos se deben dejar establecidas las pautas de actuación en cuanto a la dirección del proyecto y sus funciones; organización de los recursos materiales y humanos que han de emplearse; la administración del proyecto y la definición de su marco jurídico, es decir las normas o leyes que se deben cumplir para no poner en riesgo el proyecto; las estrategias de comunicación interna y externa y, el calendario y las fechas de entrega de subproductos o resultados.

#### • **Seguimiento y evaluación del proyecto**

La fase de seguimiento y evaluación incluyen, como su nombre lo indica actividades de seguimiento que no es más que el análisis continuado de la ejecución del proyecto en todos sus aspectos, vigilando que se ajuste a lo

planeado y, actividades de evaluación que permiten comparar la situación inicial con la final y sacar las conclusiones sobre el éxito o no del proyecto. Las funciones del seguimiento y la evaluación son mejorar las oportunidades de corrección durante la ejecución o mejorar la capacidad de actuación en el futuro a partir de la reflexión sobre los aprendizajes obtenidos en los procesos previos.

Cada una de estas actividades, el seguimiento y la evaluación, requieren de instrumentos y recursos materiales y humanos específicos que deben ser considerados durante la fase el diseño.

En nuestro medio es muy frecuente que a los proyectos no se les haga ni seguimiento ni evaluación lo cual ha generado poca confiabilidad en los ejecutores. Este es un error que hay que corregir. Esto se logra en la medida en que nos hacemos conscientes de la importancia de estas actividades para realimentar el proceso que siguen los proyectos.

Una vez claro el concepto de proyectos se da inicio al monitoreo de pozos remotos.

## **9.1 ANTECEDENTES**

### ***9.1.1 Identificación del problema***

El campo Río Ceibas, es un campo de producción maduro cuyos métodos convencionales de levantamiento de crudo como gas lift, están siendo reemplazados por sistemas de levantamiento artificial ESP y PCP, los cuales emplean para su control superficial dispositivos electrónicos llamados Variadores, encargados de controlar la frecuencia eléctrica para operación de las bombas (motores) de extracción y brindar información de las diferentes variables que influyen en el proceso.

La forma ineficaz de adquirir información del estado del pozo, conlleva a que fallas en el equipo eléctrico de éste no sean detectadas a tiempo, algunas veces con retardos que van desde las 4 horas hasta un día completo causando pérdidas, que en el peor de los casos podrían llegar incluso hasta los 507 barriles si eventualmente una falla se presentara.

Todas estas situaciones lleva a plantear una solución: Un sistema de monitoreo remoto, entregaría la información de interés de forma instantánea y continua optimizando el tiempo que duran los recorridos a las áreas interesadas Producción, Ingeniería y Mantenimiento, así como también detección inmediata de fallas y anomalías en el proceso de extracción. Dentro de los beneficios que tendría el campo con la implementación de un sistema de monitoreo y control están:

- Una notable mejora en la continuidad de producción del pozo, pues cualquier anomalía en el funcionamiento de éste se detecta instantáneamente.
- El tiempo de respuesta de los operadores y recorredores es mucho menor.
- Se tiene acceso a un registro actualizado en tiempo real del estado del pozo, específicamente del variador y el equipo eléctrico.

### **9.1.2 Planteamiento de soluciones**

La telemetría es el proceso por el cual las características de un objeto son medidas (tales como: Velocidad, Temperatura, Presión entre otros), y los resultados son transmitidos a una estación lejana donde son mostrados, grabados y analizados. El medio de transmisión puede ser: el aire o el espacio para aplicaciones satelitales, también puede ser un medio físico como la fibra óptica. Actualmente las aplicaciones de telemetría que soportan grandes cantidades de mediciones, son costosas y poco prácticas para utilizar canales de transmisión separados para cada cantidad medida. El proceso de telemetría

convierte un grupo de mediciones a un formato que puede ser transmitido como una simple cadena de información. Una vez recibido, la cadena es separada a sus componentes originales de medición para su análisis. En el mercado del monitoreo actualmente existen sistemas que son capaces de efectuar mediciones y control desde equipos, redes remotas e Internet puesto que son compatibles con conectividad IP, además permiten segmentación de protocolos y topologías que los hacen más flexibles y fácil de integrar con otras redes; esto tiene sus desventajas desde el punto de vista de la seguridad. Los sistemas de transmisión de datos en telemetría, actualmente se están realizando por medios físicos como fibras ópticas y redes de telefonía móvil. La tecnología de telemetría a nivel local se encuentra en su etapa inicial, pues los altos costos de implementación representan una barrera difícil de superar para la industria regional que es fundamentalmente agrícola y de explotación de recursos energéticos.

En la industria petrolera, Hocol intentó utilizar la red celular para monitorear sus pozos, pero fue imposible debido a la topografía de la región. Posteriormente implementó el sistema RTU (Unidad Terminal Remota) y hasta el momento ha funcionado correctamente.

Actualmente el campo Río Ceibas de Petrobrás, en el corregimiento de Fortalecillas, cuenta con un sistema de alarma ON/OFF instalado por grupos de pozos (islas) donde un radio transmite la señal de alarma de la parada de algún pozo perteneciente a una isla. La instalación de un sistema de telemetría en cualquiera de las áreas empresariales, representa un avance importante en cuanto a la eficiencia, productividad y agilización de procesos industriales pues con ella se inicia el proceso de automatización el cual permite un mayor control de las tareas a un alto rendimiento y bajo costo.

## 9.2 ESTUDIOS DE VIABILIDAD

### 9.2.1 Estandarización de variadores de velocidad en el DPSU (Distrito de Producción Sur)

Se realizó un análisis basado en información obtenida en campo, recolectando datos de placa de cada uno de los variadores (modelo, capacidad y datos nominales). Para ello, se recorrió por el campo verificando cada uno de los pozos PCP y ESP existentes.

En la siguiente tabla se resume los tipos de variadores que se encuentran actualmente en Campo:

**Tabla 6. Tipos de Variadores**

MARCA	CAPACIDAD	MODELO
Yaskawa	50 HP	CIMR – F7U 4030
	60 HP	CIMR – F7U 4037
	75 HP	CIMR – F7U 4045
Siemens	50 HP	6SE440-2UD33-7EA1
	75 HP	6SE440-2UD35-7FA1
Reda	83,200, 200 KVA	Sin Placa
Centrilift	260 KVA	2125 - 3 GCS - 6P
	390 KVA	2250 - 3 GCS - 6P
	518 KVA	4500 - 3 GCS - 6P
ABB	50 HP	ACS601 - 0060 - 4
Único	75 HP	1100 - 460 - 075 EN F00

**Fuente. Documentación Petrobrás.**

### 9.2.2 Compatibilidad para el monitoreo remoto.

Se realizaron estudios para saber que protocolo para comunicación remota utilizaban los variadores que se encuentran en campo y se concluyó que se debe utilizar el protocolo Modbus, ya que la mayoría de los variadores del campo lo utilizan y es el más utilizado para la construcción de redes.

**Tabla 7. Características de Variadores**

	<b>Yaskawa</b>	<b>Siemens</b>	<b>ABB</b>	<b>Unico</b>	<b>Reda</b>	<b>Centilift</b>
<b>Protocolo</b>	Modbus	Profibus USS	Modbus	ANSI x 3.28	Modbus	Modbus
<b>Puerto</b>	RS-485	Rs 422/485	rs-485	RS-485	RS- 232/485	RS-485

**Fuente. Documentación Petrobrás.**

Los variadores con otro tipo de protocolo de comunicación se le acondicionan tarjetas para estandarizar a comunicación Modbus.

### **9.3 EJECUCIÓN DEL PROYECTO.**

#### **9.3.1 Gestión del diseño para el monitoreo de pozos.**

Una vez planteada la solución el siguiente paso es estudiar la mejor propuesta, para esto se adelantaron evaluaciones técnicas con Delink y con Schlumberger, pero la propuesta que mejor permite aprovechar la infraestructura existente de forma integral es RAYCO, distribuidor autorizado de Motorota, igualmente Delink solo se encarga del sistema de comunicaciones pero no de un sistema integral de monitoreo.

Además se tuvo en cuenta el soporte técnico y el respaldo de los equipos, que proporciona la empresa RAYCO. Por otro lado la confianza que esta empresa se ha ganado con la petrolera con proyectos anteriores el cual han sido un éxito. Por todo lo mencionado anteriormente RAYCO es la mejor alternativa técnica y económica. Una vez notificada la decisión, ambas empresas deben coordinar cuales serán los pozos deseados para este tipo de monitoreo y con que equipos serán implementadas las islas<sup>4</sup> para su eventual automatización, teniendo en cuenta que este proyecto en su primera etapa solo será de monitoreo mas no de control ya que no es del todo confiable hacer arranques

---

<sup>4</sup> Áreas designadas en los campos de Petrobrás en los cuales se pueden encontrar uno o más pozos extractores de crudo o inyectores de agua.

remotos de las bombas extractoras debido a varias causas entre las que se encuentran:

- Se debe verificar el motivo de la detención del motor antes de hacer un arranque.
- Si el arranque de los variadores se configura en modo remoto, solo se puede manipular de esta manera, ya sea encendido o apagado, no se podrá realizar una parada de emergencia directa.
- El operador de campo en sus recorridos no puede tener control directo del arranque o frenado de los pozos.

Teniendo en cuenta el alcance y los límites del proyecto en su primera etapa se realiza un Site Survey, necesario para recolectar los datos de las islas y hacer la respectiva ingeniería de detalle, la cual será utilizada para anexar al Dossier<sup>5</sup> exigida por el área de proyectos y de esta manera tener un soporte técnico sobre el trabajo realizado en campo.

Los datos recolectados son:

- **Coordenadas geográficas de cada isla.**

**Tabla 8. Datos Geograficos de cada isla.**

<b>Sistema de Monitoreo Remoto de Pozos Campo Río Ceibas</b>						
					Fecha: Agosto 2 de 2007 Hoja: 1 de 1	
<b>Información Topográfica</b>						
	Sitio	Pozo	Latitud	Longitud	Altura	Distancia

<sup>5</sup> Libro que contiene especificaciones del desarrollo del proyecto, como son la ingeniería de detalle, especificaciones técnicas de los equipos a trabajar.

					(m)	(Km.)
1	Isla 1	RIC 022	N2 58 01.3	W75 10 23.9	648.93	0.67
2	Isla 2	RIC 011	N2 57 42.7	W75 10 33.6	651.44	0.27
		RIC 012				
		RIC 016				
3	Isla 5	RIC 027	N2 57 15.9	W75 10 47.3	645.13	1.0
		RIC 067				
4	Isla 6	RIC 030	N2 56 54.1	W75 11 11.8	637.33	1.91
		RIC 034				
		RIC 039				
		RIC 054				
5	Isla 9	Inyector H2O	N2 57 45.0	W75 10 53.8	622.86	0.41
		RIC 032				
		RIC 019	N2 57 43.5	W75 10 57.3	619.26	0.52
6	Isla F	RIC 008	N2 57 20.5	W75 11 12.4	615.21	1.29
		RIC 024				
		RIC 035				
		RIC 095				
7	Isla G	Inyector H2O	N2 56 57.2	W75 11 31.6	609.13	2.1
		RIC 045				
8	Isla H	RIC 062	N2 56 46.4	W75 11 36.6	604.06	2.56
		RIC 063				
9	Isla I	RIC 031	N2 56 18.7	W75 11 41.0	610.42	3.32
		RIC 052				
		RIC 053				
		RIC 064				
10	Isla N1	RIC 041	N2 57 04.5	W75 11 23.1	616.07	1.87
11	Isla N2	RIC 036	N2 56 39.8	W75 11 26.1	618.71	2.52
		RIC 065				
		RIC 084				
		RIC 086				
12	Tigre 1	Tigre 1	N2 55 27.7	W75 14 11.7	547.59	7.82
13	Tigre 2	Tigre 2	N2 55 24.6	W75 13 07.4	564.17	6.33
14	Repetidor Sur		N2 55 26.5	W75 12 21.3	582.68	5.35
15	Repetidor Isla H		N2 56 46.4	W75 11 36.6	604.11	2.56
16	Centro de Control		N2 57 47.6	W75 10 40.9	637.72	

NOTA: Las distancias se miden con relación al Centro de Control

**Fuente. Autor**

- **Fotos de posición de las casetas que se encuentran dentro de cada isla.**

**Figura 79. Vista frontal de la caseta**



**Fuente. Autor**

**Figura 80. Vista trasera de la caseta**



**Fuente. Autor**

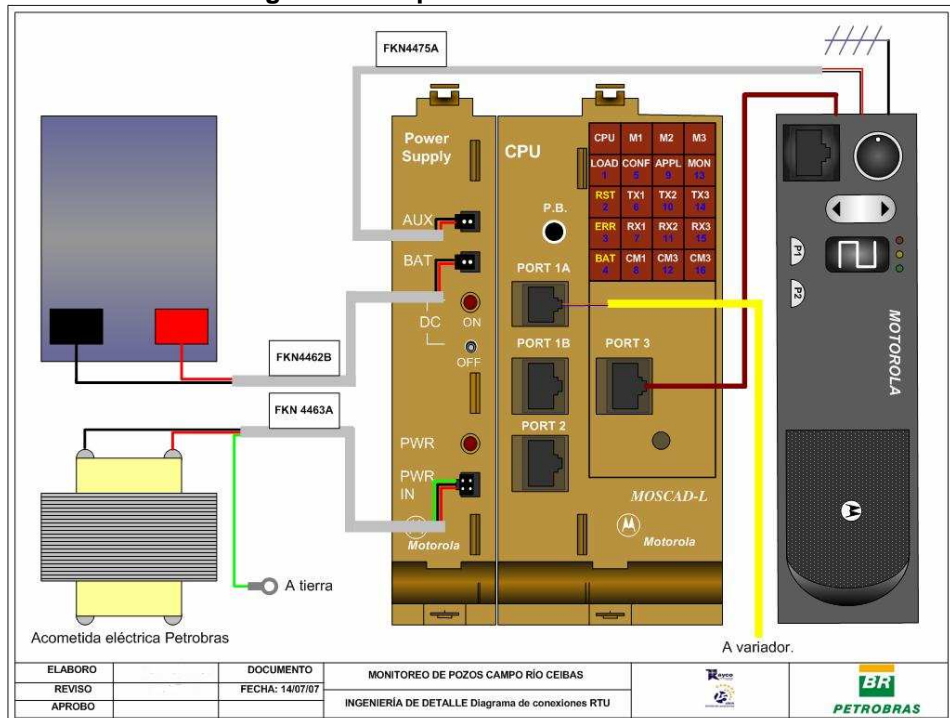
Figura 81. Vista lateral de la caseta



Fuente. Autor

- Esquema interno de la RTU

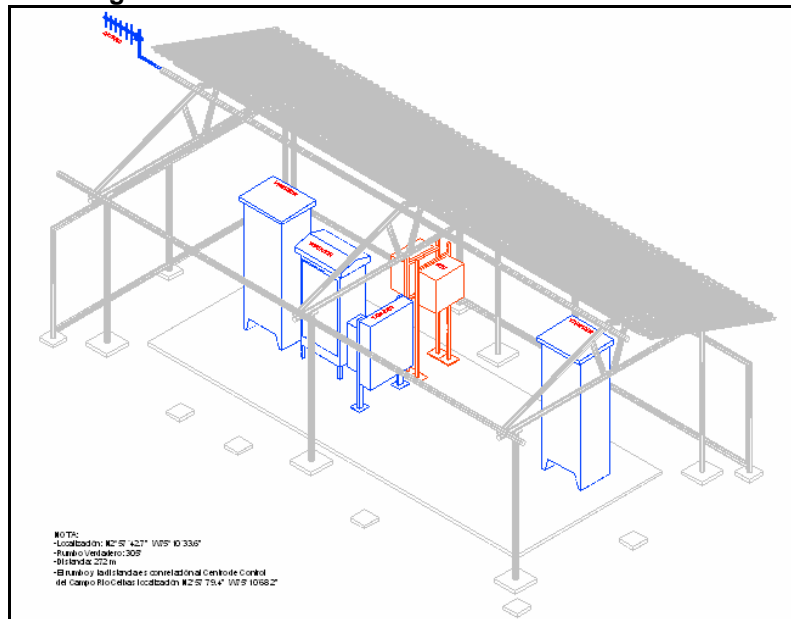
Figura 82. Esquema interno de la RTU



Fuente. Autor

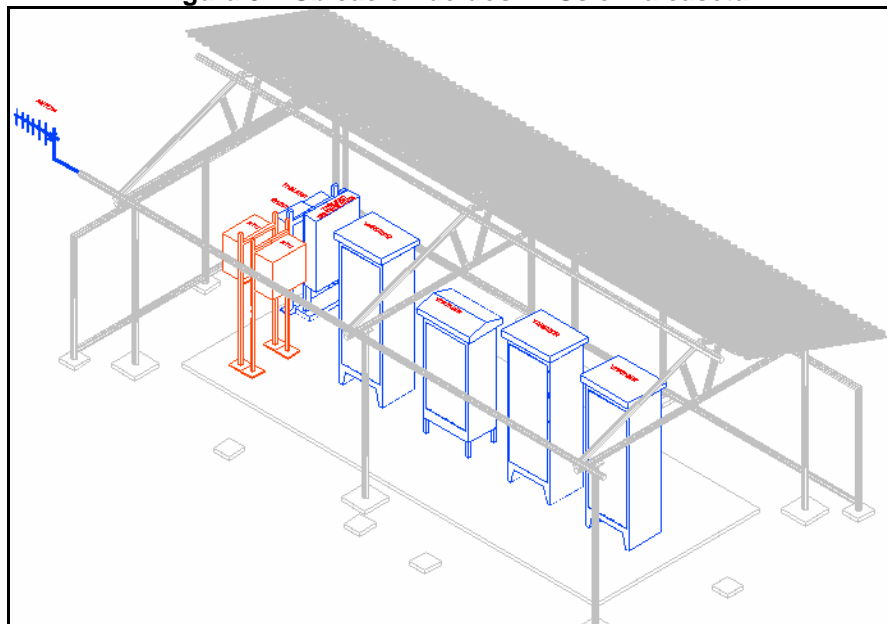
- Esquema de ubicación de la RTU dentro de las casetas.

Figura 83. Ubicación de la RTU dentro de la caseta



Fuente. Autor

Figura 84. Ubicación de dos RTUs en la caseta



Fuente. Autor

- **Especificaciones técnicas de los equipos a instalar (Catalogue sheet)**

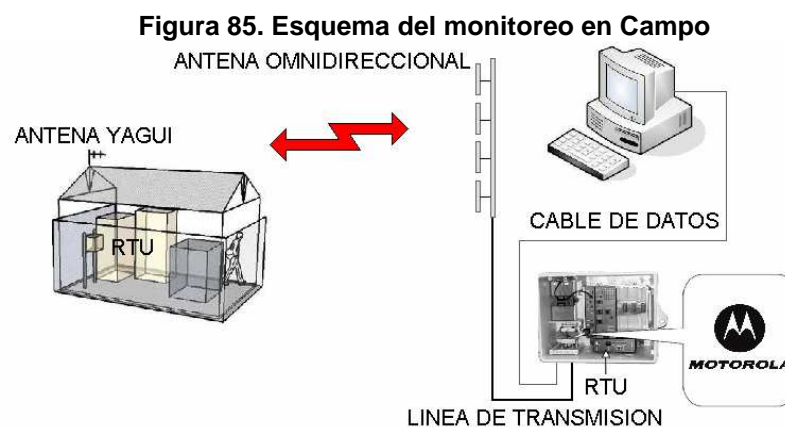
- Moscad L.(Anexo C)
- Radio EM200.(Anexo D)
- Antena yagui.(Anexo E)
- Antena omnidireccional.(Anexo F)
- Factory link.(Anexo G)

### **9.3.2 Sistema Supervisorio de Petrobrás**

Se debe tener una visión de cómo se encuentran conectados los equipos necesarios para el monitoreo, teniendo en cuenta la ubicación de la RTU en la caseta donde se encuentran los demás equipos electrónicos como son los variadores, el tablero electrónico y el antiguo sistema de supervisión ON/OFF.

Además de la RTU, el sistema de monitoreo tiene otros componentes como son los radios, las antenas de transmisión y finalmente el ordenador ubicado en el centro de control en el cual estará instalado el software con la interfaz humano maquina (HMI).

A continuación se ilustra el esquema de los equipos utilizados para el sistema monitoreo de pozos remoto designado en los campos de Petrobrás.



**Fuente. Autor**

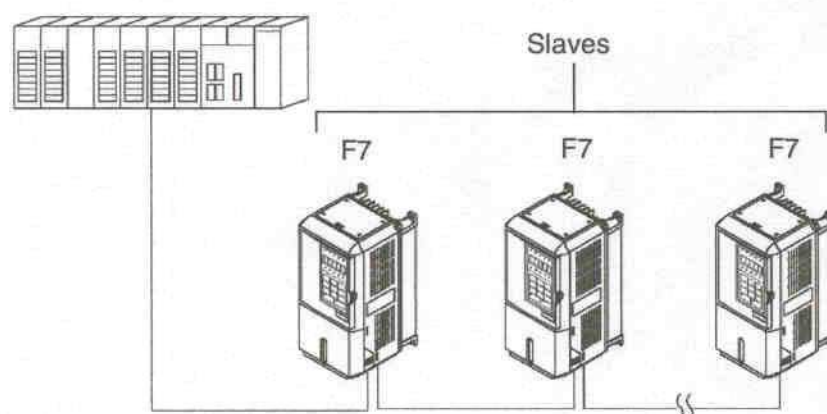
En la figura 80 se ilustra detalladamente la conexión del sistema de supervisión, el cual se observa el proceso que se realiza para transmitir la información al centro de control.

En el sitio remoto se encuentran los variadores de velocidad el cual suministra las señales a monitorear, la comunicación entre el PLC Moscad L y el variador de velocidad es Modbus RTU, ya que los estudios realizados demostraron que este bus es el mas típico en los variadores de velocidad que posee los capos de Petrobrás y el mas utilizado en el mercado industrial.

La comunicación Modbus es configurada utilizando el maestro 1 (PLC) y un máximo de 31 esclavos. La comunicación serial entre el maestro y esclavo es normalmente iniciada por el maestro y respondida por los esclavos.

El maestro realiza la comunicación serial con un esclavo a la vez. Consecuentemente, la dirección de cada esclavo, debe estar inicialmente configurada, para que el maestro pueda realizar la comunicación serial usando esa dirección. Los esclavos que reciben comandos desde el maestro realizan las funciones especificadas del y mandan una respuesta al maestro.

**Figura 86. Conexión entre el Maestro y los Variadores**  
Master

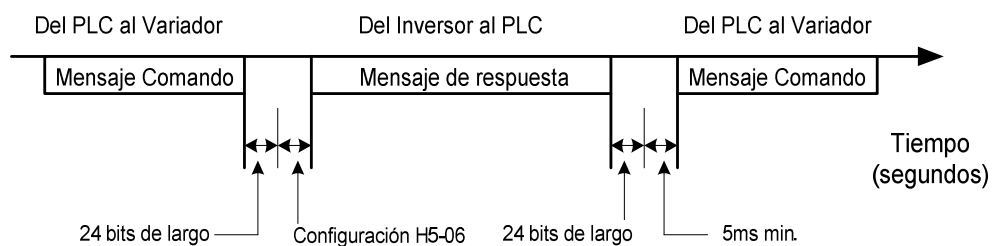


**Fuente. Autor**

En la comunicación Modbus, el maestro envía comandos al esclavo, y el esclavo responde. El formato del mensaje es configurado para ambos enviando y recibiendo como es mostrado abajo. La longitud del paquete de datos es controlado por el contenido del comando (función).

El espacio entre mensajes debe soportar lo siguiente:

**Figura 87. Espacio del mensaje**



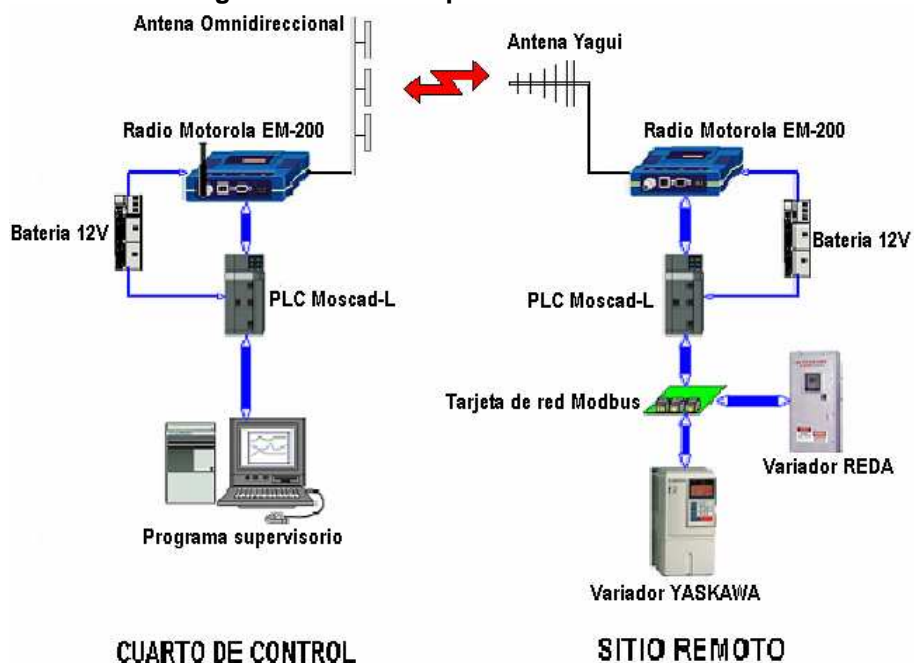
**Fuente. Autor**

La tarjeta de unión de red Modbus se utiliza siempre y cuando el variador de velocidad no posea este tipo de comunicación.

El PLC Moscad L se encarga de extraer la información de las señales a monitorear del variador y codificarla para enviarla al radio EM 200 de Motorola, la función de este último y en conjunto con la antena de transmisión Yagui es proporcionar un sistema de radio enlace el cual transmita la información por la frecuencia designada en UHF.

El medio de recepción se encuentra ubicado en el centro de control, este cuenta con una antena omnidireccional el cual recibe las señales de todos los pozos, la forma de recepción es similar a la de transmisión, la diferencia radica en cambiar el programa de la RTU de recepción, para así llegar al paso final y es mostrar la información recolectada en el HMI.

**Figura 88. Proceso que realiza el monitoreo**

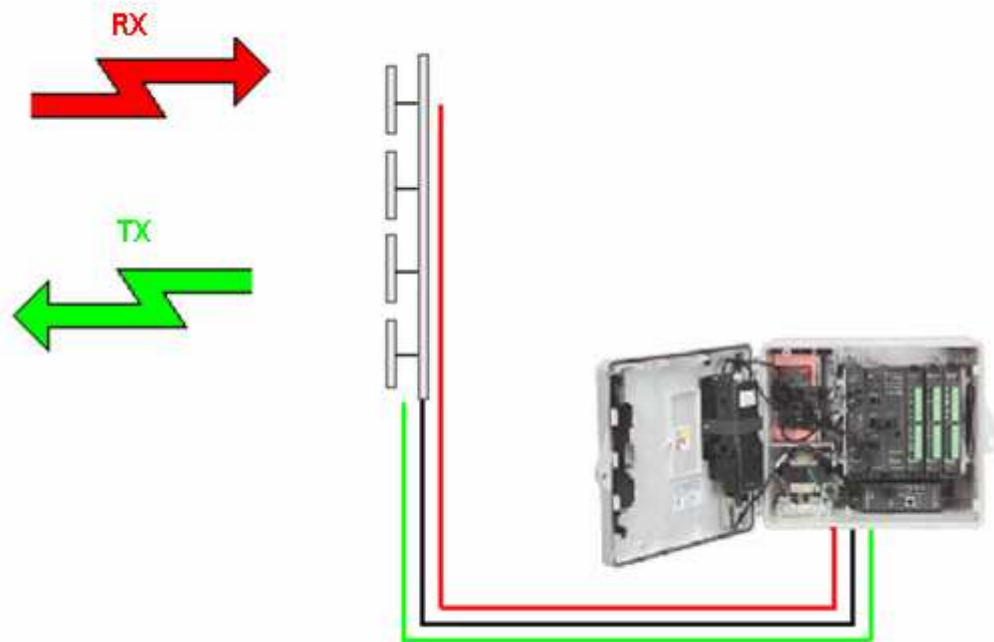


**Fuente. Autor**

En el caso de los lugares de repetición se trabaja con una antena omnidireccional conectada a la RTU, como se muestra en la figura 84. La RTU se programa en modo Rx/Tx (Receptor/Transmisor).

La señal que es recibida (color rojo) es decodificada por la RTU. La información que se recibe vuelve a ser codificada y realiza el proceso de transmisión (color verde) hasta el centro de control.

Figura 89. Transmisión/Recepción de unidad repetidora



Fuente. Autor

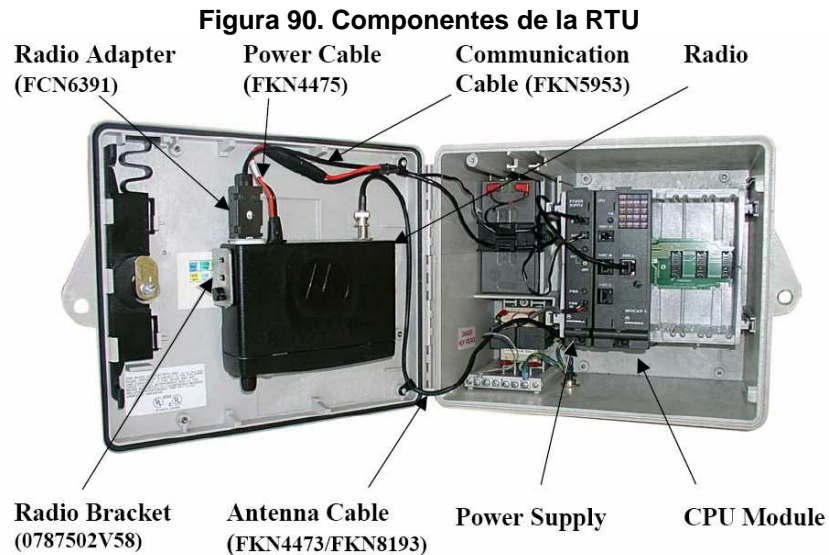
## 9.4 SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

### 9.4.1 *Instalación de equipos para el monitoreo de pozos*

Una vez terminado el esquema del diseño asignado y cumplido con los requisitos de la empresa (Hoja de ruta y documentación de seguridad industrial), se procede a instalar los equipos en campo, en este proceso se trabajó en conjunto debido a que se estaba finalizando el tiempo establecido en el contrato.

En esta etapa final del proyecto de monitoreo de pozos remotos para Petrobrás, se realizó un cronograma de actividades y se repartieron tareas para agilizar el trabajo.

La construcción de las RTUs fue el primer paso a realizar debido a que era el equipo más complejo de ensamblar y su construcción tenía que realizarse en los laboratorios de la empresa RAYCO.

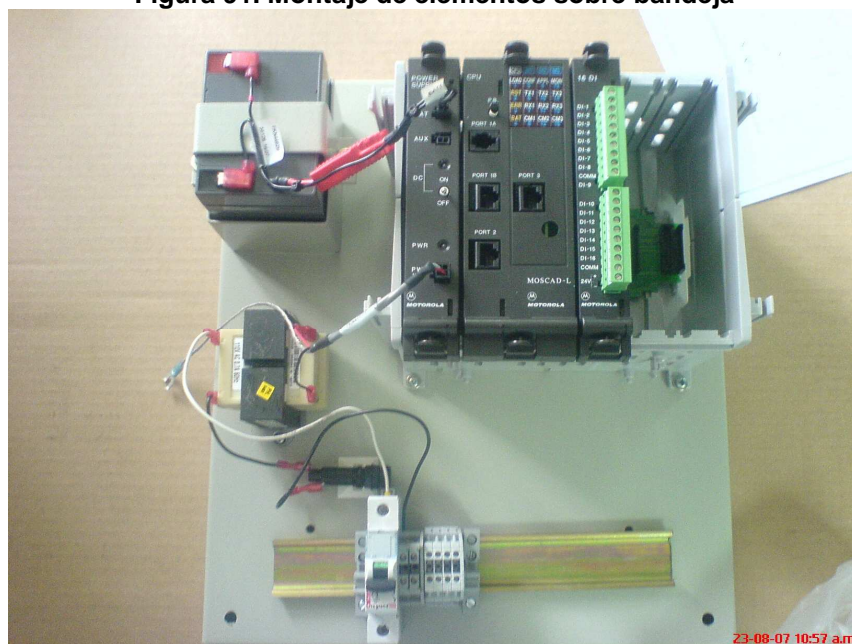


**Fuente. Autor**

En la figura 85 se observa el conjunto de equipos que componen la RTU instaladas en campo Río Ceibas. Consta de un radio Motorota EM 200, el PLC Moscad L con su fuente, un transformador, un braker de seguridad, un fusible, una batería de soporte, un adaptador para la entrada al radio y un gabinete ya sea NEMA 4 de fibra de vidrio o metálico.

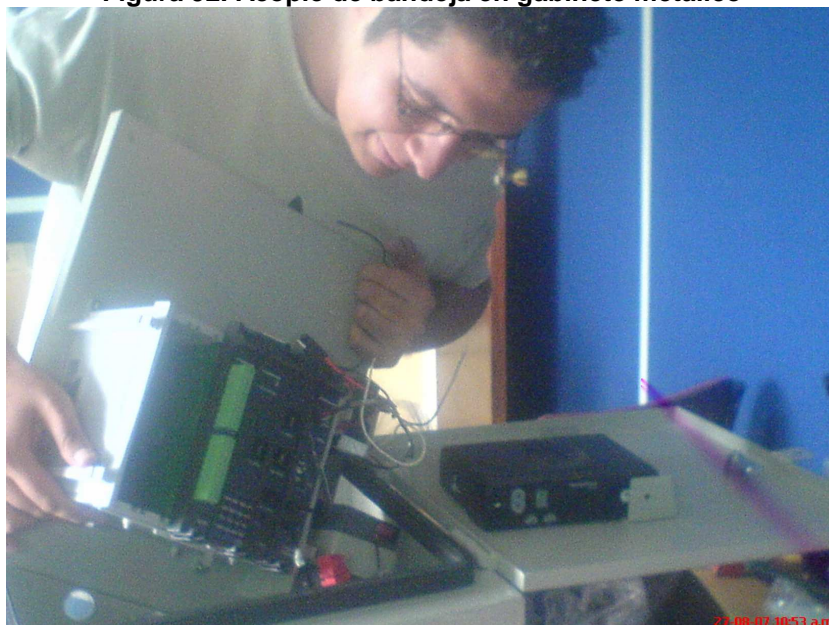
El ensamblaje de los equipos en un gabinete metálico es mucho mas practica que en los gabinetes en fibra de vidrio, debido a que se deben ensamblar primero en una bandeja, una vez instalados en su totalidad esta bandeja será añadida al gabinete, como se ilustra en las figuras 86 y 87.

**Figura 91. Montaje de elementos sobre bandeja**



**Fuente. Autor**

**Figura 92. Acople de bandeja en gabinete metálico**



**Fuente. Autor**

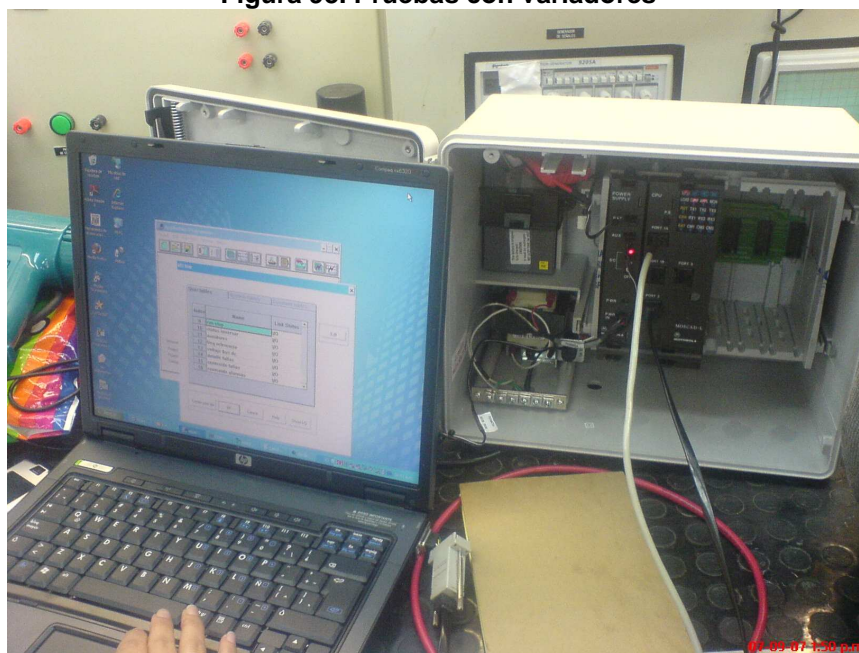
Actualmente en Campo Río Ceibas existen 11 RTUs de gabinete metálico y 10 mas con gabinete en fibra de vidrio, una de las ventajas del gabinete metálico es que es mas fácil de manipular internamente debido a que es mas grande y

hay mas espacio en su interior, pero el inconveniente es el peso, por otro lado el gabinete de fibra de vidrio es mucho mas pequeño y mas liviano.

Una vez ensambladas las RTUs, se deben instalar en campo pero para esto Petrobrás tiene un reglamento estricto para la instalación o ejecución de cualquier proyecto en sus campos, por este motivo se debe trabajar teniendo en cuenta de cumplir y hacer cumplir sus normas, este es uno de los objetivos mas importantes en el seguimiento que se le lleva a la instalación, además de otras obligaciones como es enfrentar los problemas existentes en la ejecución del proyecto, dar nuevas alternativas con el fin de solucionar dichos inconvenientes. Para esto se debe seguir unos parámetros ya que el coordinador principal de este proyecto se encuentra en las instalaciones de Petrobrás en Bogota y no esta al tanto de lo que ocurre con la instalación en los campos de explotación, cada cambio en el cronograma o en la instalación de los equipos, como también las modificaciones al proyecto de ultimo momento y otros inconvenientes que pueden surgir en el campo debe ser suministrada al director en Bogota; para trabajar en conjunto en una solución o aprobación rápida de estos cambios el cual se deben acomodar a lo planteado en el diseño, a las políticas empresariales y exigencias de Petrobrás.

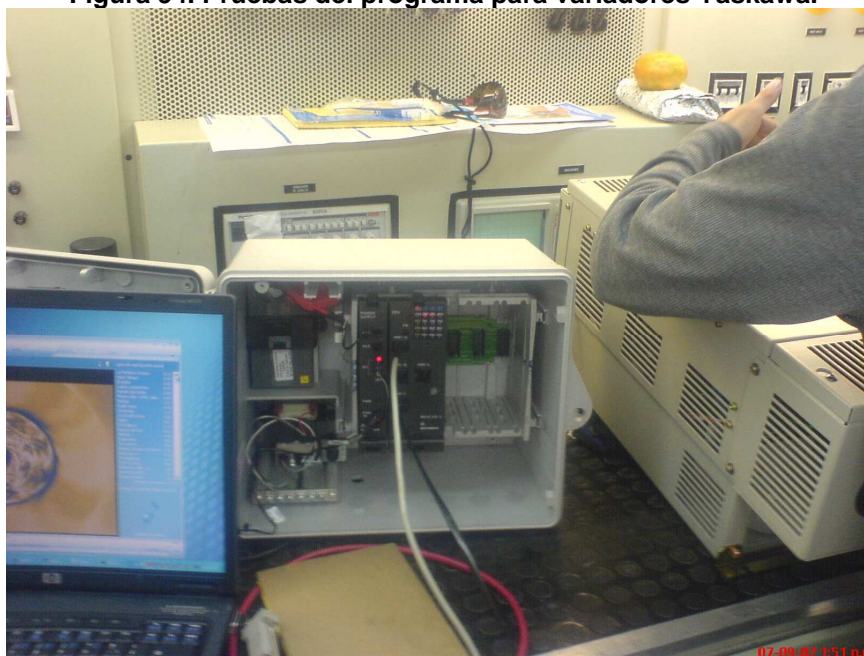
Cumplidas las normas de seguridad de la empresa se dio inicio a la instalación de los equipos en campo, dándole prioridad a las pruebas que se deben realizar entre el variador y el programa del PLC (Figura 88). Esto se hace con el fin de tener resultados con equipos reales y no con las simuladas.

**Figura 93. Pruebas con variadores**



**Fuente. Autor**

**Figura 94. Pruebas del programa para variadores Yaskawa.**



**Fuente. Autor**

Una vez probados los programas del PLC se continúa con la instalación de los equipos isla por isla.

La instalación en una isla consta de un herraje que soporta el gabinete de la RTU, una antena el cual va conectada al radio MOTOROLA EM200 ubicado dentro del gabinete por medio de una línea de transmisión LMR600. Cuando hay dos variadores a monitorear se utiliza topología de bus y la conexión entre el PLC y la RTU se realiza por comunicación serial RS 485.

Se debe tener en cuenta que para estos trabajos hay que diligenciar una serie de permisos diarios que informan a la empresa las actividades que se realizaran en el transcurso del día, ya que sin esos formularios no se puede iniciar ningún tipo de labor dentro del campo. Para el trabajo realizado en la instalación del monitoreo de pozos remotos se deben tramitar permisos de trabajo en alturas y en frío, existen otros permisos como son los de trabajo en caliente y excavaciones, estos no se necesitaron debido a que los trabajos no lo requerían.

Para la instalación de los equipos es necesario tener el mapa de ruta, ya que las islas donde se estan los pozos se encuentran a distancias muy alejadas. Ver Anexo H.

Las imágenes que se muestran a continuación ilustran el desarrollo de la instalación en una isla.

**Figura 95. Instalación de soporte metálico**



**Fuente. Autor**

**Figura 96. Ajuste de RTU y líneas de transmisión**



**Fuente. Autor**

**Figura 97. Montaje de gabinete metálico sobre soporte**



**Fuente. Autor**

**Figura 98. Montaje de dos gabinetes sobre soporte metálico**



**Fuente. Autor**

**Figura 99. Instalación de la línea de transmisión.**



**Fuente. Autor**

**Figura 100. Montaje de antenas.**



**Fuente. Autor**

La instalación en el centro de control es más compleja porque se debe instalar dos RTUs y dos antenas omnidireccionales en modo de recepción, cada una con su línea de transmisión. Un sistema de recepción funciona en forma primaria y el segundo como redundancia por si hay fallas en el principal no se pierda la información. La instalación de la antena debe ser ubicada dependiendo del perfil topográfico y se coloca en la torre del centro de control como se muestra en la figura 96.

**Figura 101. Instalación de antenas en centro de control.**



**Fuente. Autor**

Una vez instaladas las antenas se conectan a los radios de las RTU en modo de recepción y finalmente llevar la información al computador que posee el HMI realizado por medio del software Factory Link.

La interfaz que se desarrollo en Factory Link esta diseñado de tal forma que sea fácil de entender por los operarios encargados y así tener un monitoreo mas amigable de cada pozo.

En la figura 97 se muestra la HMI con los nombres de las Islas organizadas horizontalmente y debajo de cada una se encuentran los pozos que están ubicados en ellas.

En la parte inferior de la ventana se ilustran los iconos que muestran el funcionamiento de las repetidoras y el centro de control con su redundancia.

**Figura 102. HMI Campo Rió Ceibas**

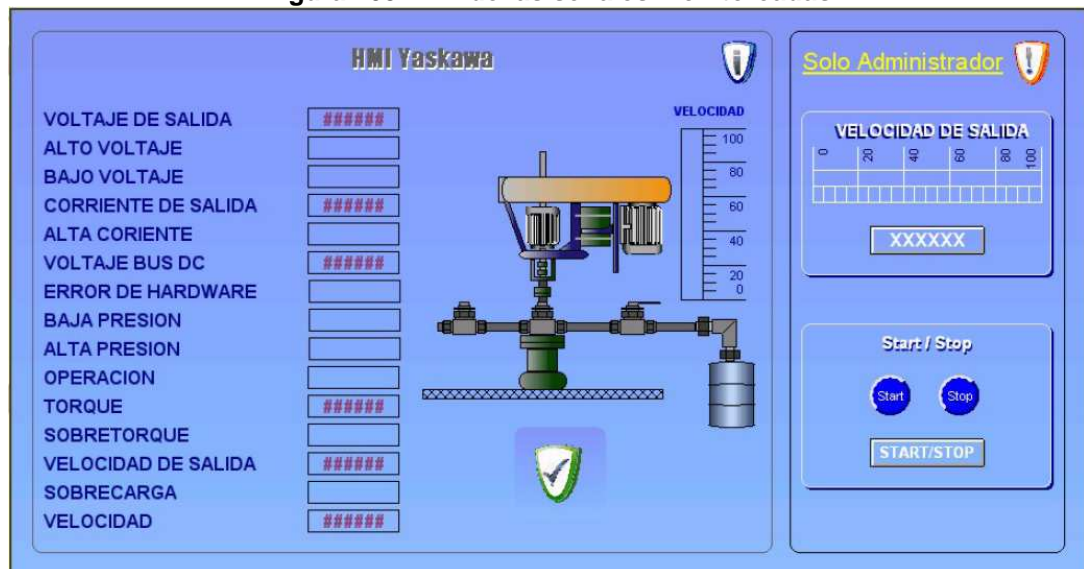


**Fuente. Autor**

En la figura 98 se muestra el monitoreo que se le realiza al variador de cada bomba PCP que se utiliza para la extracción de crudo en los pozos, con sus respectivas variables.

Para llegar a esta ventana de supervisión se debe hacer click en los botones predeterminados en la ventana anterior, de esta forma se realiza el vinculo entre ambas interfases

**Figura 103. HMI de las señales monitoreadas**



**Fuente. Autor**

El Factory link es un software muy completo y de muchas ventajas para la industria ya que la relación costo/beneficio es muy compleja porque al adquirir la licencia del software se incluye las siguientes librerías: modbus ASCII, modbus plus, modbus TCP y drivers para RSLINX OPC SERVER y OPC CLIENT. Incluye también una licencia del software Microsoft SQL Server 2000 para bases de datos históricas.

El Factorylink fue diseñado especialmente para WINDOWS 2000 y está construido usando los estándares de Microsoft DNA (Distributed InterNet

Applications Architecture) siendo el primer producto SCADA que utiliza al máximo las ventajas que este estándar ofrece.

WINDOWS DNA es una arquitectura multi-capa (Multi Tier) que incorpora tres funciones distintas: Interfaz de Usuario, Procesamiento de Datos y Almacenamiento de Datos. Al conformarse de acuerdo con este estándar, el Factorylink es provisto de unos clientes y servidores. Los servidores proveen toda la funcionalidad de procesamiento de datos. Los clientes proveen funcionalidad de interfases de usuario tanto para configuración como para las funciones de supervisión y control de los procesos de producción.

El SQL 7.0 de Microsoft es suministrado con el Factorylink provee una avanzada capa de almacenamiento de datos lista para usar al sacarlo de la caja. Se soporta, además, una amplia variedad de bases de datos disponibles en el mercado.

Además de las ventajas hay que tener en cuenta las funciones que realiza el software, juntas se obtiene un gran complemento que la convierte en una herramienta muy llamativa para las empresas que la requieren.

**Las funciones del Factory link son:**

- Adquisición de Datos
- Procesamiento de Datos
- Procesamiento de Alarmas y Eventos
- Lógica definida por el Usuario
- Registro de Datos
- Procesamiento, Almacenamiento y Recuperación de Datos Históricos
- Control Estadístico de Procesos
- Reportes.

## **10 SISTEMA DE RADIO ENLACE**

Para la instalación de un sistema de radio enlace se debe plantear un diseño en el cual demuestre que hay línea de vista, ósea que no se presenten obstáculos en la comunicación y que la distancia entre el transmisor y el receptor sea la adecuada para que las pérdidas en el espacio libre sean mínimas.

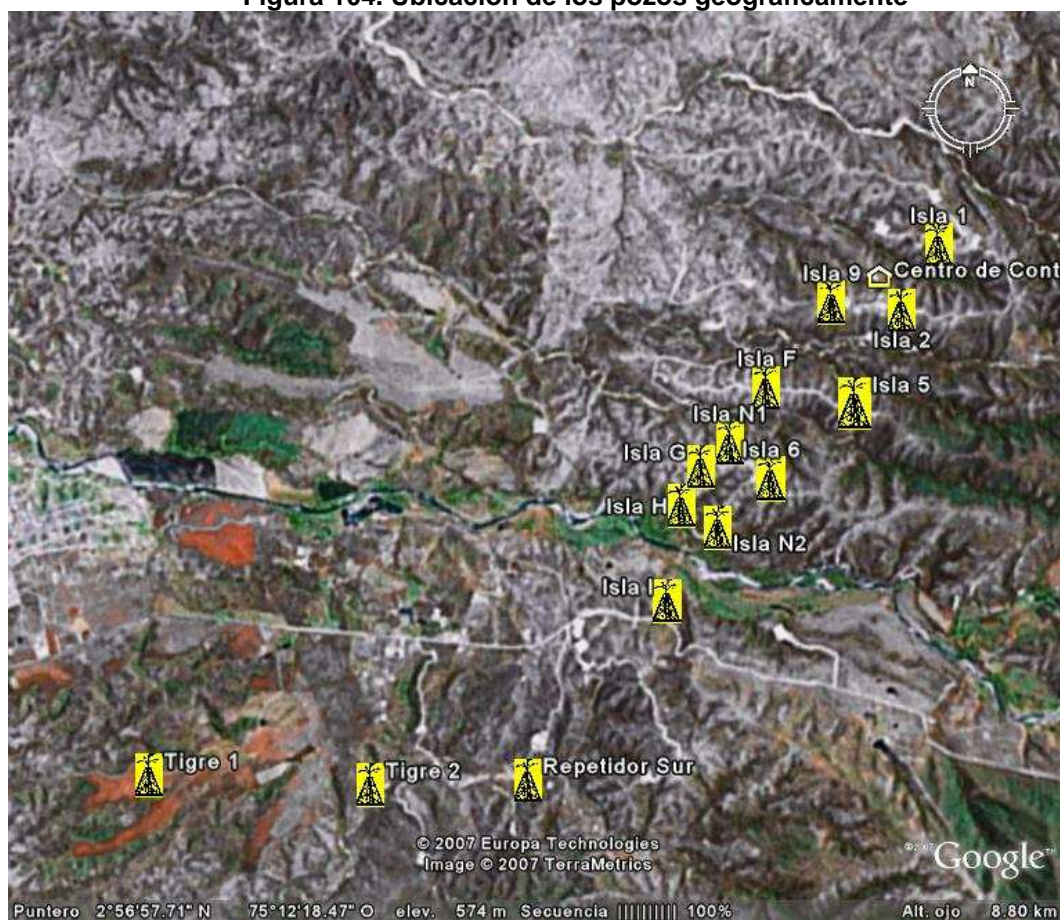
Para el diseño hay dos formas de plantearlo, el primero es por modelo matemático y el otro es por medio de un software especializado en enlaces. Siendo este último el más utilizado por las compañías que suministran los servicios de instalación de radio enlaces ya que es mucho más práctico y sus cálculos son más exactos.

### **10.1 MODELO MATEMÁTICO**

#### ***10.1.1 Perfiles topográficos:***

Para obtener la ubicación geográfica de las islas se utilizó el software Google Earth y de esta manera tener un aproximado de estas, y así tener en cuenta como se realizaría el enlace y la ruta de cada uno de estos.

Figura 104. Ubicación de los pozos geográficamente



Fuente. Autor

Una vez ubicados cada uno de los pozos se determino las alturas y coordenadas por medio de un GPS y de esta manera tener los datos exactos de la localización de cada una de las islas.

A continuación se hará el enlace de una de las islas con el centro de control utilizando una repetidora y de esta manera observar si se tiene línea de vista entre las tres antenas dispuestas para este enlace.

### 10.1.2 Perfil Isla I – Repetidora Isla H

#### CALCULO DE LA LONGITUD DE CADA TRAYECTO

$$D = \sqrt{(\Delta \text{Long} * 111.32)^2 + (\Delta \text{Lat} * 111.32)^2 + (\Delta h)^2}$$

$$\Delta long = long(Isla\_I) - long(Repetidora\_H)$$

$$= 75.11^\circ - 75.09^\circ = 0.02^\circ$$

$$\Delta Lat = Lst(Isla\_I) - Lat(Repetidora\_H)$$

$$= 2.56^\circ - 2.54^\circ = 0.02^\circ$$

$$\Delta h = h(Isla\_I) - h(Repetidora\_H)$$

$$= 610.42 - 604.11 \text{ m} = 6.31 \text{ m} \Rightarrow 0.00631 \text{ Km}$$

$$D = \sqrt{(0.000349 * 111.32)^2 + (0.000349 * 111.32)^2 + (0.0631)^2} \quad D = 1.26 \text{ Km.}$$

Figura 105. Cálculo de Azimut entre Isla I y Repetidor Isla H

The screenshot shows a software window titled "Add Path to Project" with a blue header and a close button. The interface is divided into two main sections: "Site 1" and "Site 2".

**Site 1 Data:**

- Name: Isla I
- Latitude: 2 Degrees, 56 Minutes, 18.7 Secs
- Longitude: 75 Degrees, 11 Minutes, 41.0 Secs
- Azimuth: 170.93
- Ground Elevation: 610.42 (m)
- Distance / Quadrant: 0.86 km

**Site 2 Data:**

- Name: Repetidor H
- Latitude: 2 Degrees, 56 Minutes, 46.4 Secs
- Longitude: 75 Degrees, 11 Minutes, 36.6 Secs
- Azimuth: 350.93
- Ground Elevation: 604.11 (m)
- Distance / Quadrant: SouthWest

At the top of the window, there are buttons for "Change Site Name", "Compute Distance & Azimuth" (which is highlighted with a dashed border), "OK", and "Cancel".

Below the site data, a section titled "Project Currently has the following Paths" contains an empty white box and a "View Path Data" button.

Fuente. Autor

Para obtener la distancia entre los sitios del enlace se utilizó dos métodos, uno fue por medio de la fórmula de distancia utilizada para este tipo de enlaces, y

otra fue por medio del software StarLink 3.0, este segundo método también nos sirve para obtener el ángulo de Azimut.

Como podemos observar los resultados entre los dos métodos son muy cercanos lo cual nos indica que hay un corto margen de error entre los cálculos y los obtenidos por el software.

**Isla I:** N2 56 18.7 W75 11 41.0

**Altura:** 610.42 mts

**Altura (Antena):** 3 mts

**Azimut:** 170.93

**Distancia:** 1.26Kms

**Repetidora H:** N2 56 46.4 W75 11 36.6

**Altura:** 604.11 mts

**Altura (Antena):** 4 mts

**Azimut:** 350.93

**Frecuencia (Mhz):** 928 MHz

### **GANANCIA DEL SISTEMA**

Matemáticamente la ganancia del sistema es:

$$G_S = F_m + L_p + L_f + L_b - A_t - A_r$$

En donde:

Gs= ganancia del sistema (dB)

Fm= margen de decaimiento para un determinado objetivo de confiabilidad.

Lp= perdida de la trayectoria del espacio libre entre antenas.

Lf= perdida del alimentador de guías de ondas entre la red de distribución y su antena respectiva.

Lb= perdida total de acoplamiento.

At= ganancia de la antena transmisora.

Ar= ganancia de la antena receptora.

### Perdidas de la trayectoria de espacio libre

$$L_p(dB) = 92.4 + 20\log f(GHz) + 20\log D(Km)$$

$$L_p(dB) = 92.4 + 20\log(0.928) + 20\log(1.26)$$

$$L_p(dB) = 92.4 - 0.64 + 2.007$$

$$L_p(dB) = 93.76dB$$

### Margen de desvanecimiento

$$F_m = 30\log(D) + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70$$

$$F_m = 30\log(1.26) + 10\log(6 * 1 * 0.5 * 0.928) - 10\log(1 - 0.9999) - 70$$

$$F_m = 3.011 + 4.44 + 40 - 70$$

$$F_m = -22.54dB$$

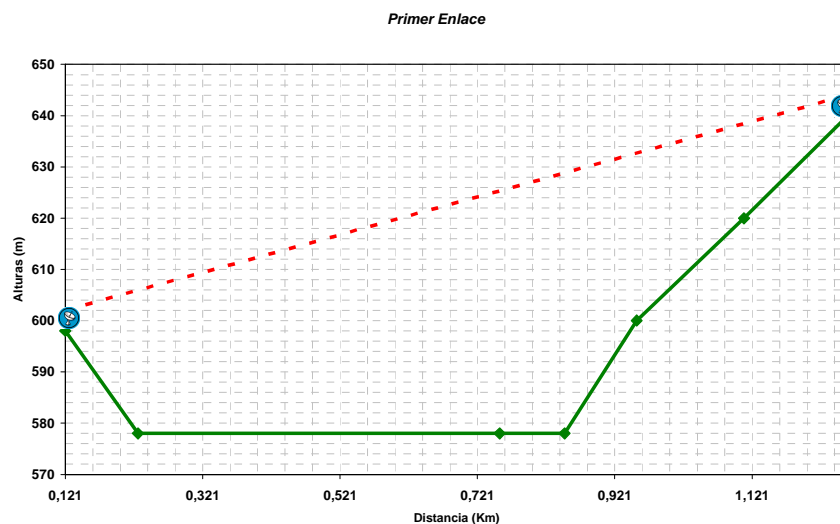
Para así obtener una ganancia del sistema de:

$$G_s = -22.54 + 93.7 + 13 + 3 - 12.15 - 12.15$$

$$G_s = 62.86dB$$

Una vez fueron halladas las pérdidas del sistema, se puede observar la ganancia que este tiene, y como se puede observar la ganancia es mayor que las pérdidas y por tanto podemos concluir que el enlace es factible a que se realice.

Figura 106. Perfil topográfico Isla I – Repetidor Isla H



Fuente. Autor

Se obtuvo las curvas de nivel y de esta manera poder generar el perfil de el primer enlace que seria entre Isla I y el Repetidor de Isla H, para determinar la línea de vista y una posible interferencia de la señal.

### **10.1.3 Perfil Repetidora Isla H – Centro de Control**

#### **CALCULO DE LA LONGITUD DE CADA TRAYECTO**

$$D = \sqrt{(\Delta\text{Long} * 111.32)^2 + (\Delta\text{Lat} * 111.32)^2 + (\Delta h)^2}$$

$$\Delta\text{long} = \text{long}(\text{Re petidora } _H) - \text{long}(\text{Centro } _\text{Control})$$

$$= 75.09^\circ - 75.07^\circ = 0.02^\circ$$

$$\Delta\text{Lat} = \text{Lat}(\text{Re petidora } _H) - \text{Lat}(\text{Centro } _\text{Control})$$

$$= 2.56^\circ - 2.54^\circ = 0.02^\circ$$

$$\Delta h = h(\text{Isla } _I) - h(\text{Re petidor } _H)$$

$$= 637.72 - 604.11\text{m} = 3.31\text{m} \Rightarrow 0.0331\text{Km}$$

$$D = \sqrt{(0.000349 * 111.32)^2 + (0.000349 * 111.32)^2 + (0.0331)^2}$$

$$D = 2.08 \text{ Km.}$$

Los cálculos de las distancias se realizaron igual que para el primer enlace, pero se tiene en cuenta las nuevas coordenadas, que en este caso serán las de la Repetidora en Isla H y el Centro de Control.

**Figura 107. Cálculo de Azimut entre Repetidor Isla H y Centro de Control**

Site 1				Site 2			
Name	Repetidor H			Centro de Control			
Latitude	Degrees	Minutes	Secs	Degrees	Minutes	Secs	
	2	56	46.4	2	57	47.6	
Longitude	75	11	36.6	75	10	49.9	
Azimuth	142,50			322,50			
Ground Elevation	604,11 (m)		637,62 (m)				
Distance / Quadrant	2,37 km		SouthWest				

Project Currently has the following Paths

View Path Data

**Fuente. Autor**

**Repetidora H:** N2 56 46.4 W75 11 36.6

**Altura:** 604.11 mts

**Altura (Antena):** 4 mts

**Azimut:** 142.5

**Distancia:** 2.08 Kms

**Centro De Control:** N2 57 47.6 W75 10 40.9

**Altura:** 637.72 mts

**Altura (Antena):** 30 mts

**Azimut:** 322.5

**Frecuencia (Mhz):** 928 MHz

**Perdidas de la trayectoria de espacio libre**

$$L_p (dB) = 92.4 + 20 \log f (GHz) + 20 \log D (Km)$$

$$L_p (dB) = 92.4 + 20 \log (0.928) + 20 \log (2.08)$$

$$L_p(dB) = 92.4 - 0.64 + 6.36$$

$$L_p(dB) = 98.12dB$$

### Margen de desvanecimiento

$$F_m = 30\log(D) + 10\log(6ABf) - 10\log(1 - R) - 70$$

$$F_m = 30\log(2.08) + 10\log(6 * 1 * 0.5 * 0.928) - 10\log(1 - 0.9999) - 70$$

$$F_m = 9.54 + 4.44 + 40 - 70$$

$$F_m = -16.01dB$$

Para así obtener una ganancia del sistema de:

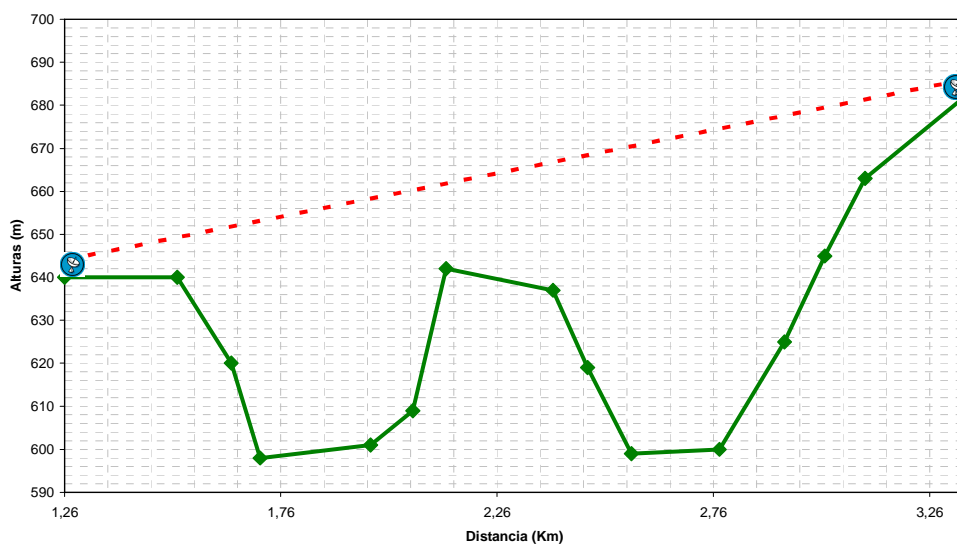
$$G_s = -16.01 + 98.12 + 13 + 3 - 12.15 - 12.15$$

$$G_s = 73.11dB$$

Nuevamente se halla la ganancia del sistema y de esta manera se comprueba que el enlace se cumple para todo el recorrido de la señal desde la Isla I hasta el Centro de Control.

**Figura 108. Perfil Topográfico Repetidor Isla H – Centro de Control**

*Segundo Enlace*

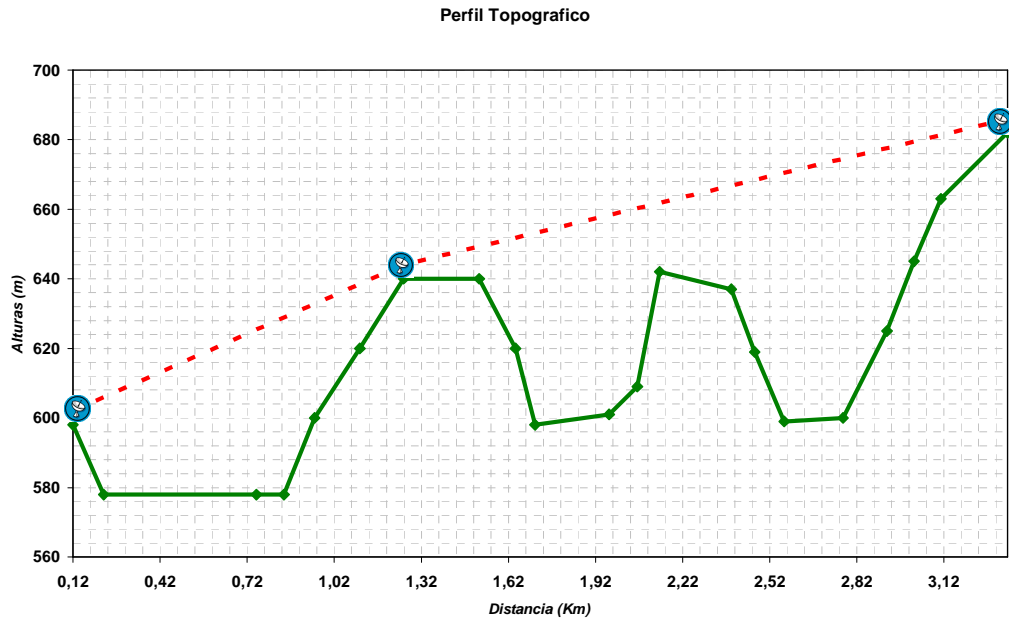


**Fuente. Autor**

De la misma manera que se hizo para el primer enlace se hace para el del Repetidor Isla H y el centro de control.

#### 10.1.4 Perfil Topográfico Isla I-Repetidora Isla H-Centro de Control.

Figura 109. Perfil Topográfico Isla I – Repetidor Isla H – Centro de Control



Fuente. Autor

Una vez hechos los dos enlaces correspondientes se genera el perfil topográfico de todo el enlace teniendo en cuenta la ubicación de las antenas y la línea de vista, para de esta manera observar la propagación de la onda.

## 10.2 SOFTWARE PARA RADIO ENLACES

Para la instalación de los equipos de transmisión/recepción en los campos de Petrobrás se utilizó el software Radio Mobile que es de propiedad de la empresa RAYCO.

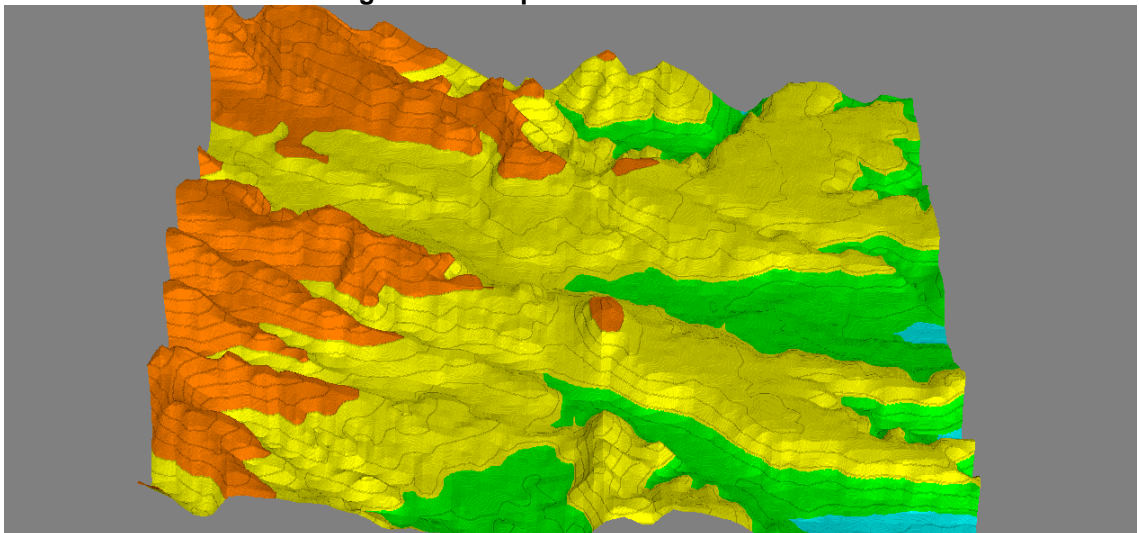
El Radio Mobile es muy versátil y muy sencillo de utilizar, posee muchas opciones entre las que se encuentran el ingreso de rutas vía GPS o descargas

de los mapas en los cuales se van a trabajar, en el caso de esta instalación se descargo el mapa con las coordenadas geográficas cercanas a la estación Río Ceibas.

Otra herramienta que lo hace llamativo es sus imágenes en tercera dimensión el cual son indispensables para observar el terreno montañoso y cómo el enlace se encuentra ubicado en este.

En la figura 105 se observa el mapa que se descargo vía Internet en tercera dimensión de la estación Río Ceibas ubicado en el departamento del Huila.

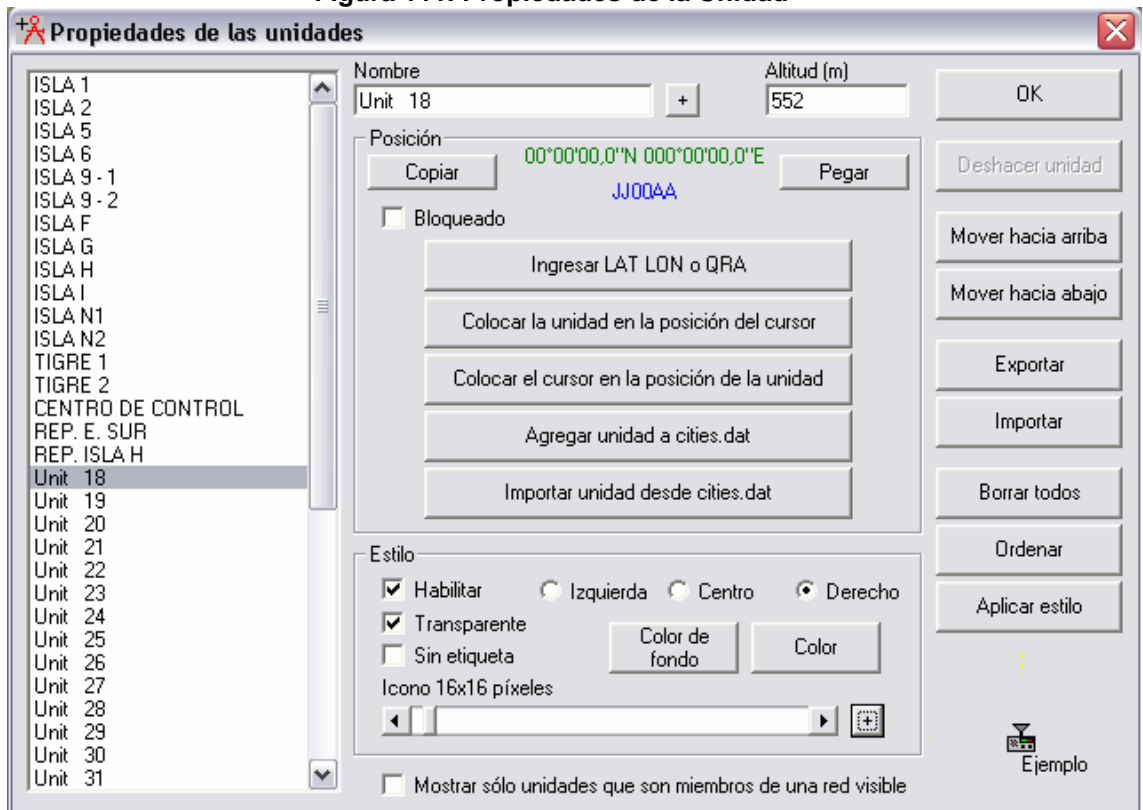
**Figura 110. Mapa estación Río ceibas**



**Fuente. Autor**

Una vez descargado, se ubican los puntos del enlace en el cual interactúan las Islas, las repetidoras y el centro de control, la ubicación geográfica de cada una se realiza vía GPS; en la figura 106 se observa como se modifican las propiedades de las unidades que se encuentran en el enlace. Si se desea modificar o agregar la unidad solo es necesario: cambiarle el nombre de la unidad, ingresar la latitud y longitud y modificar el estilo con un icono referente y un color de fondo si lo deseo y automáticamente el software lo ubica en el mapa y arroja el dato de altura.

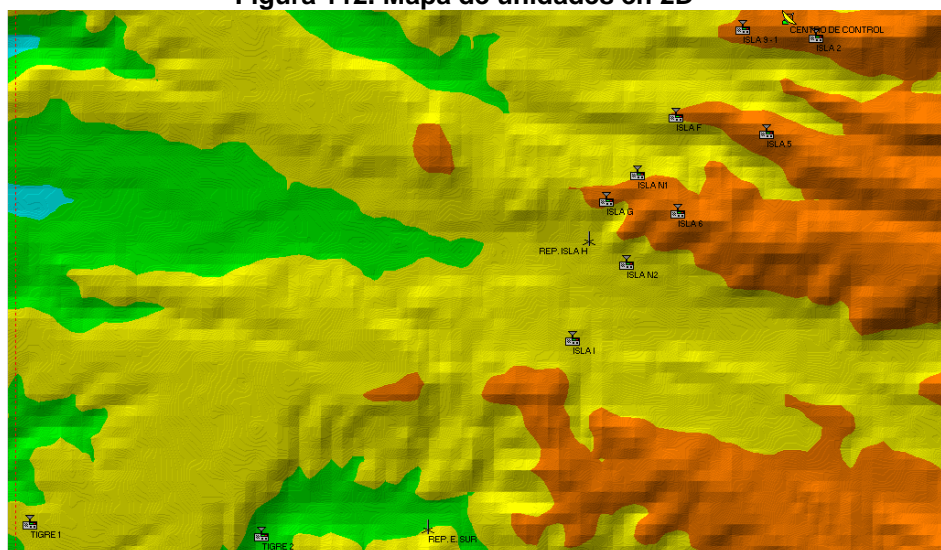
Figura 111. Propiedades de la Unidad



Fuente. Autor

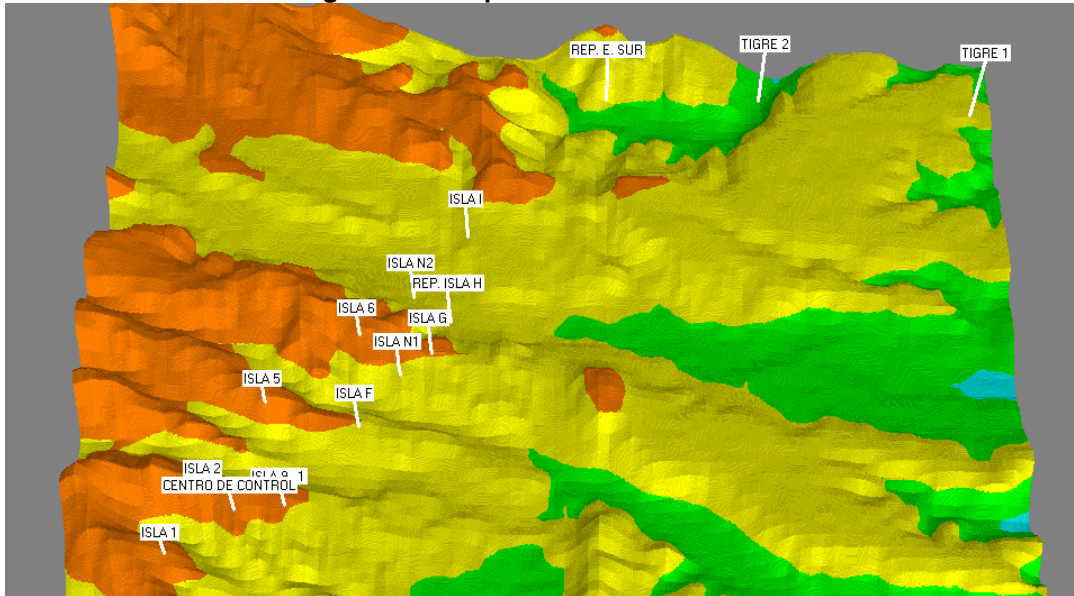
Una vez posicionadas las unidades con sus respectivos nombres se ilustrara en el mapa de la forma deseada, ya sea en dos dimensiones como lo muestra la figura 107o en 3D como lo ilustra la figura 108.

Figura 112. Mapa de unidades en 2D



Fuente. Autor

**Figura 113. Mapa de unidades en 3D**

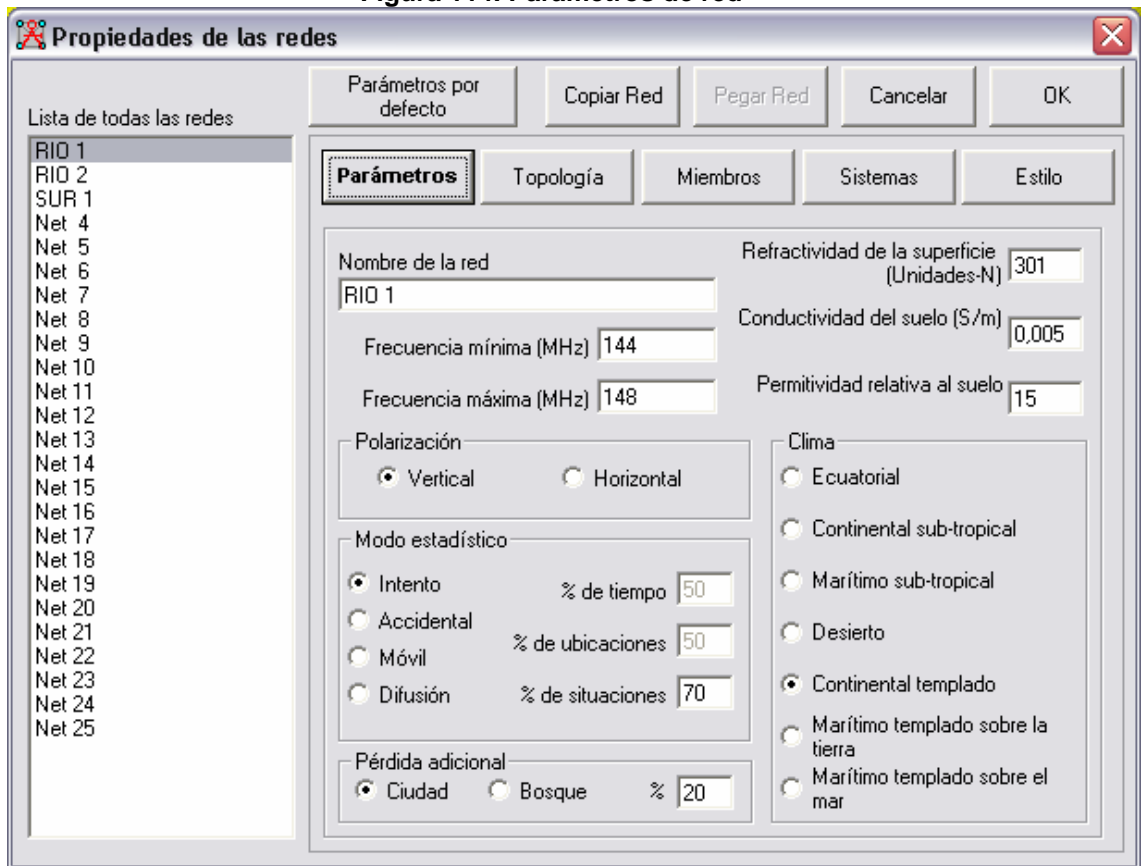


**Fuente. Autor**

El siguiente paso es abrir las propiedades de las redes, para modificar los parámetros como se ilustra en la figura 109, para esto se debe seleccionar el tipo de clima de la zona, las frecuencias máximas y mínimas que se van a trabajar y las pérdidas adicionales siendo estos los más relevantes.

La topología de red se debe seleccionar en modo de Red de datos ya que esto es lo que se va a transmitir y la topología en estrella ya que todos los enlaces se dirigen al centro de control.

Figura 114. Parámetros de red

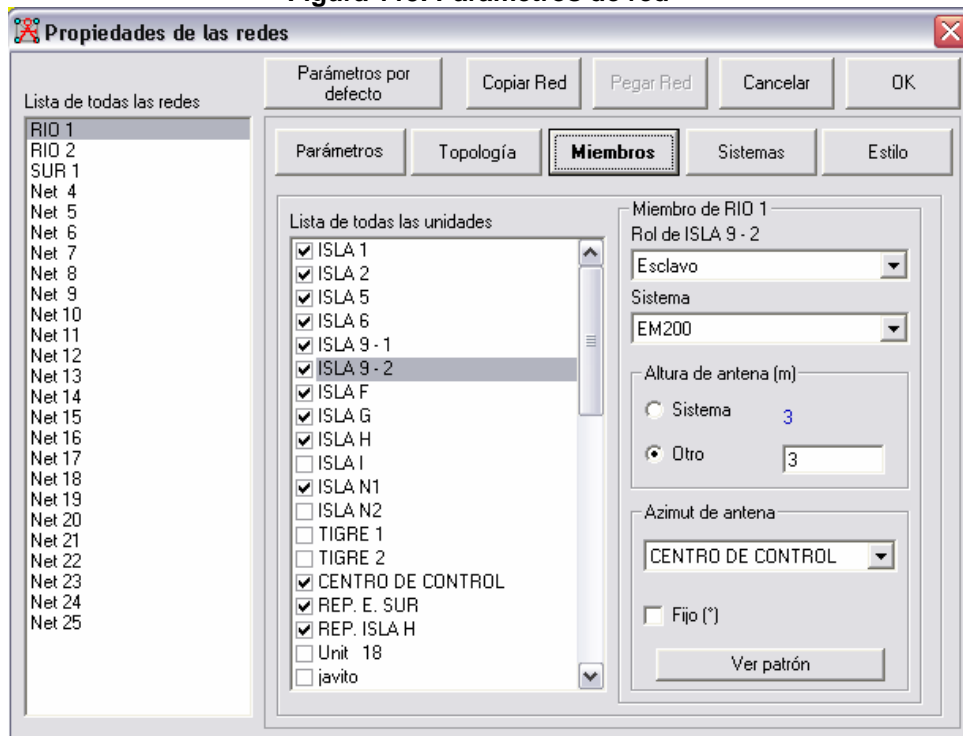


Fuente. Autor

Para realizar el enlace de la red se debe seleccionar la Isla que se va a configurar como se ilustra en la figura 110 y modificar el rol que presta, el tipo de radio, la altura de la antena y en el azimut se ubica asía donde va diseccionado.

En el ítem de Sistemas se configuran los parámetros del radio a utilizar como el nombre, la potencia de transmisión, el tipo de antena, la altura de la antena, la ganancia y las pérdidas del cable de transmisión.

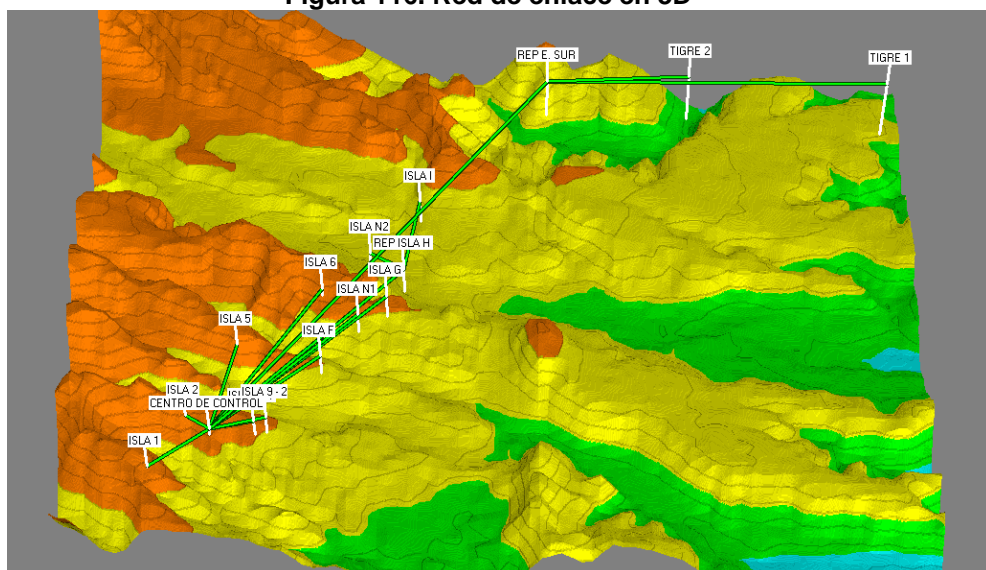
**Figura 115. Parámetros de red**



**Fuente. Autor**

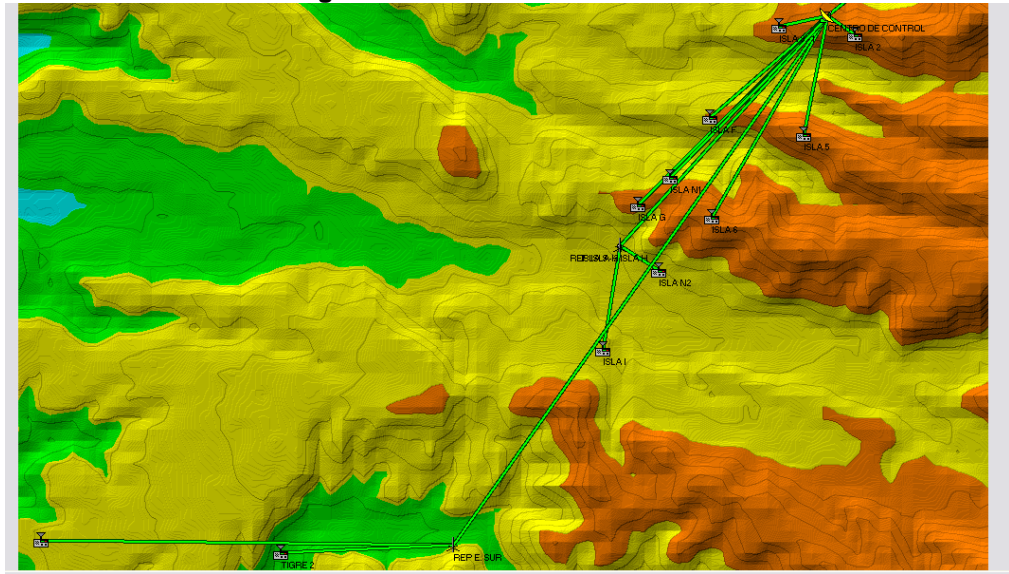
Una vez modificadas las unidades y las propiedades de la red se cargarán en el software y este mostrará los enlaces completos, estos se pueden observar en 2D o en 3D como se ilustra en las siguientes figuras.

**Figura 116. Red de enlace en 3D**



**Fuente. Autor**

**Figura 117. Red de enlace en 2D**



**Fuente. Autor**

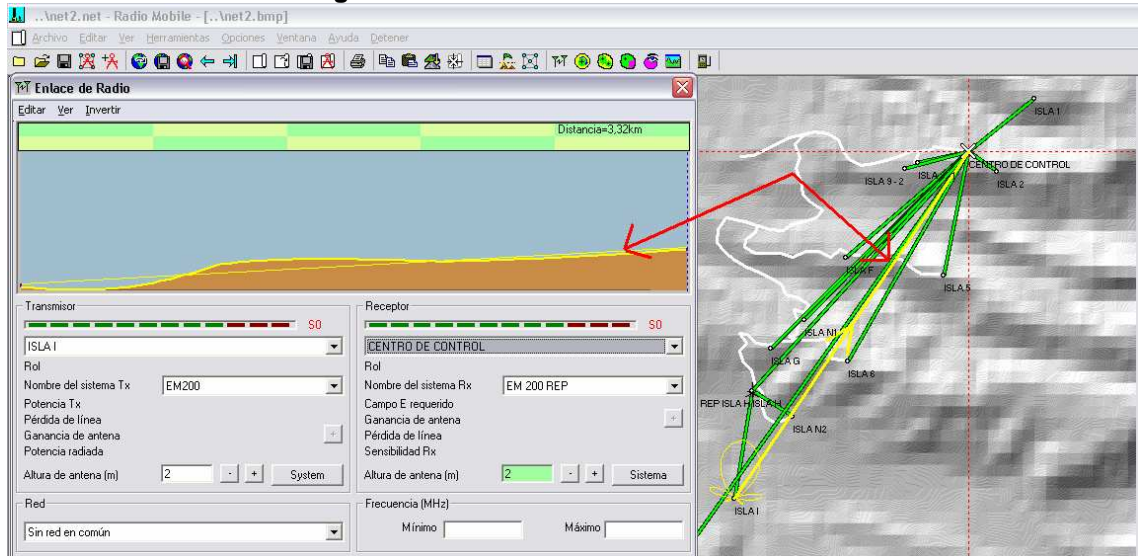
Una vez desarrollado la red de enlace se procede a analizar todos los enlaces para así determinar cuales islas se encuentran fuera del alcance del centro de control y poder ubicar las repetidoras en lugares seguros dentro de los dominios de la empresa.

El Radio Mobile tiene una herramienta el cual analiza el enlace de radio de cada una de las islas ubicadas en el mapa y así se analiza si se debe enviar el enlace a una repetidora o si va directo al centro de control.

Cuando un enlace necesita repetidora se observa que este se torna amarilla, lo mismo pasa con la grafica que arroja la herramienta de Enlace de Radio para observar de una forma mas detallada lo explicado anteriormente se puede ver el ejemplo de la figura 113 el cual con flechas rojas muestra los acontecimientos ya mencionados.

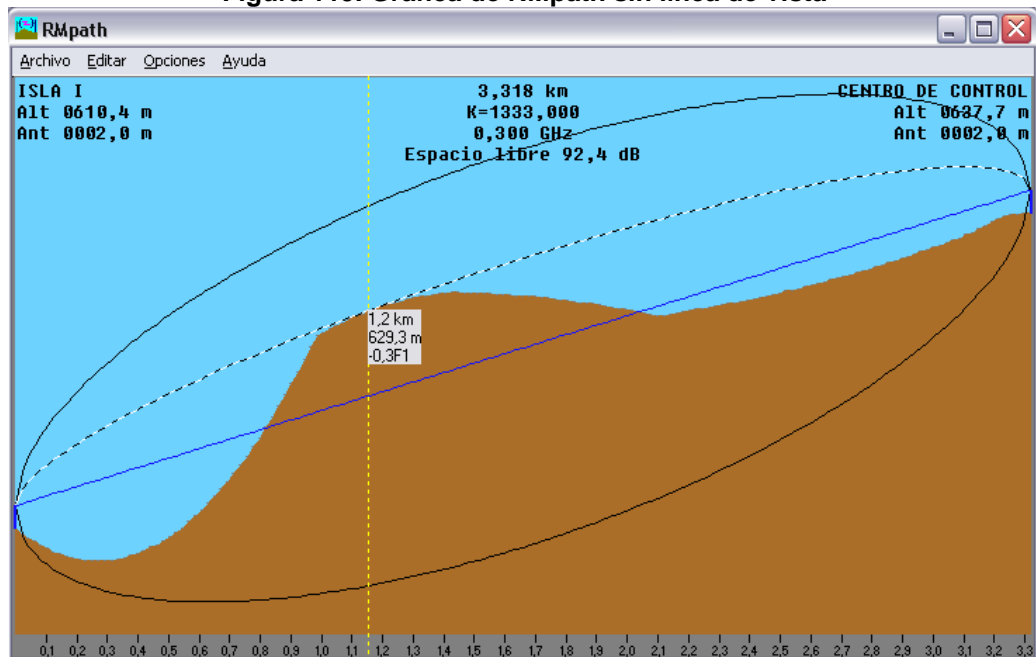
En la figura 114 se observa el mismo enlace sin línea de vista de la figura 113 con otra herramienta llamada RMPATH el cual muestra claramente la interferencia que afecta la zona de fresnel.

**Figura 118. Transmisión sin línea de vista**



Fuente. Autor

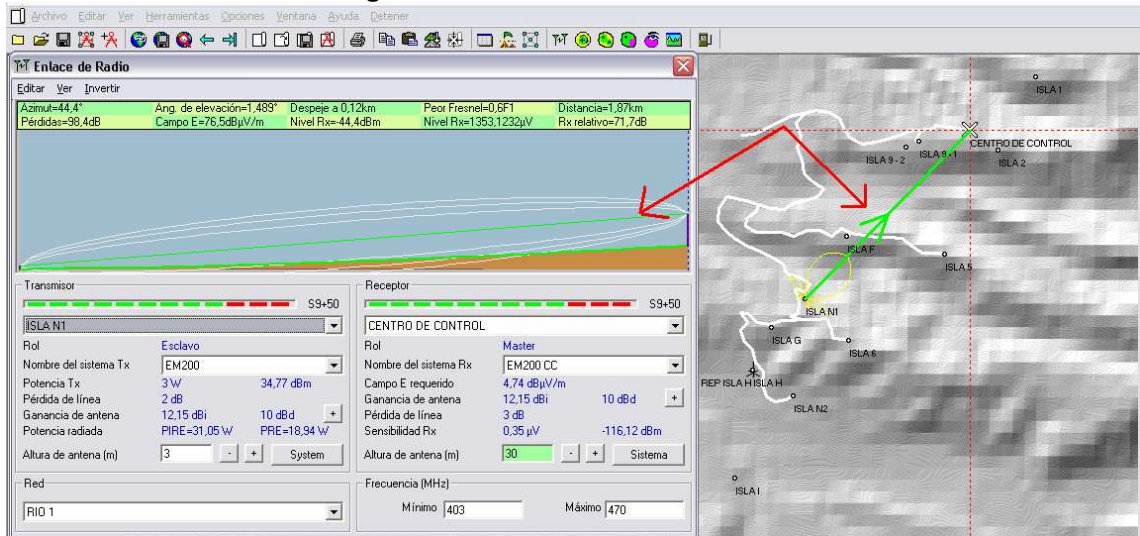
**Figura 119. Grafica de RMPATH sin línea de vista**



Fuente. Autor

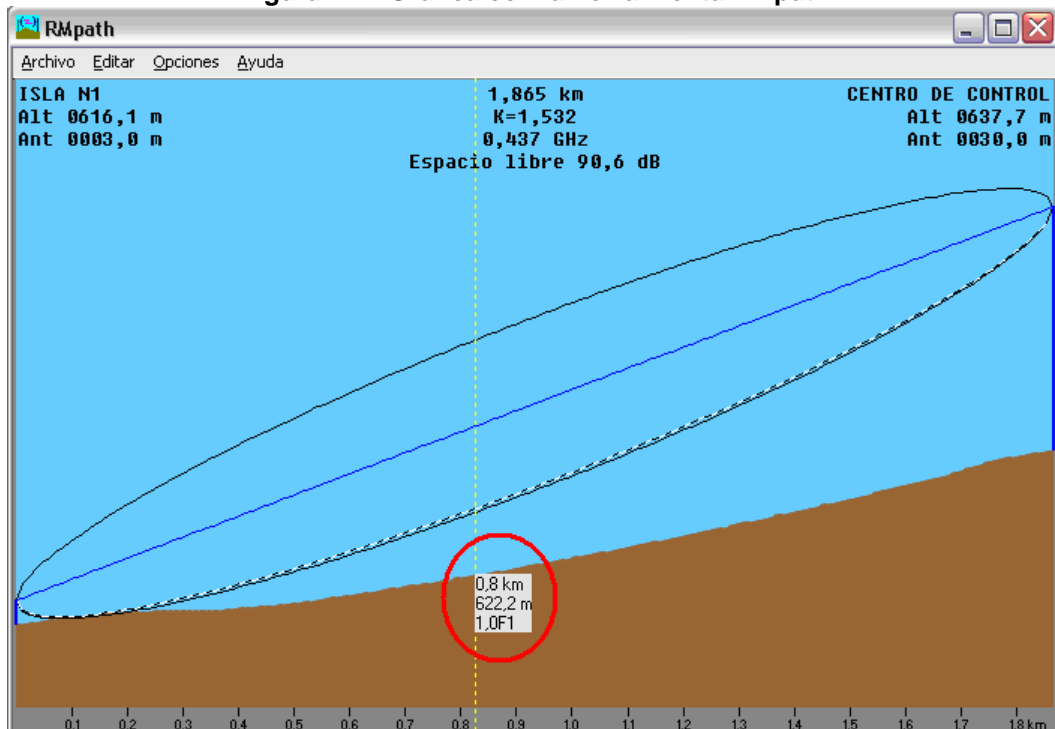
Pero cuando hay un correcto enlace con línea de vista el software lo mostrara en color verde (figura 115) y el RmPath graficara una transmisión sin obstáculos y con una etiqueta en el cual se registra el valor de la zona de fressnel encerrada en rojo (figura 116) de 1,0 o 100%

**Figura 120. Enlace con línea de vista**



**Fuente. Autor**

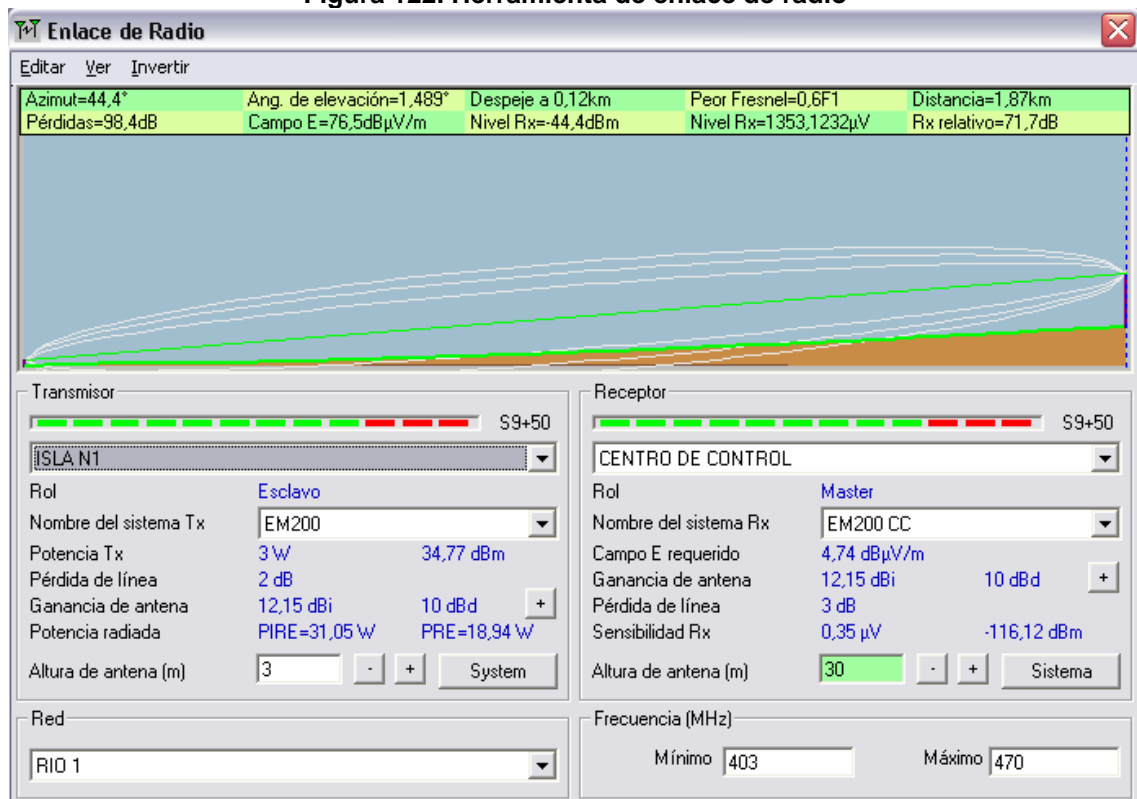
**Figura 121. Grafica con la herramienta RmPath**



**Fuente. Autor**

Por medio de la herramienta de Enlace de Radio también se pueden obtener algunos datos que le arroja el software como se puede observar en la figura 121. En la parte superior de la grafica se encuentra la información del azimut uno de los mas importantes para la ubicación del ángulo de las antenas, la zona de fressnel, la distancia entre ambos puntos, el nivel de recepción, entre otros y en la parte inferior a la grafica se puede observar las características tanto del transmisor como del receptor.

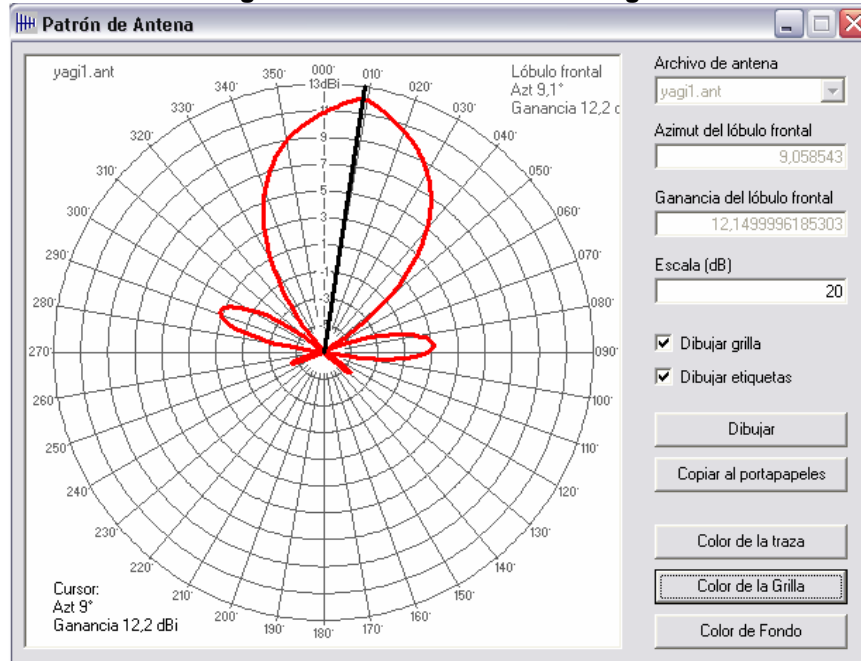
**Figura 122. Herramienta de enlace de radio**



**Fuente. Autor**

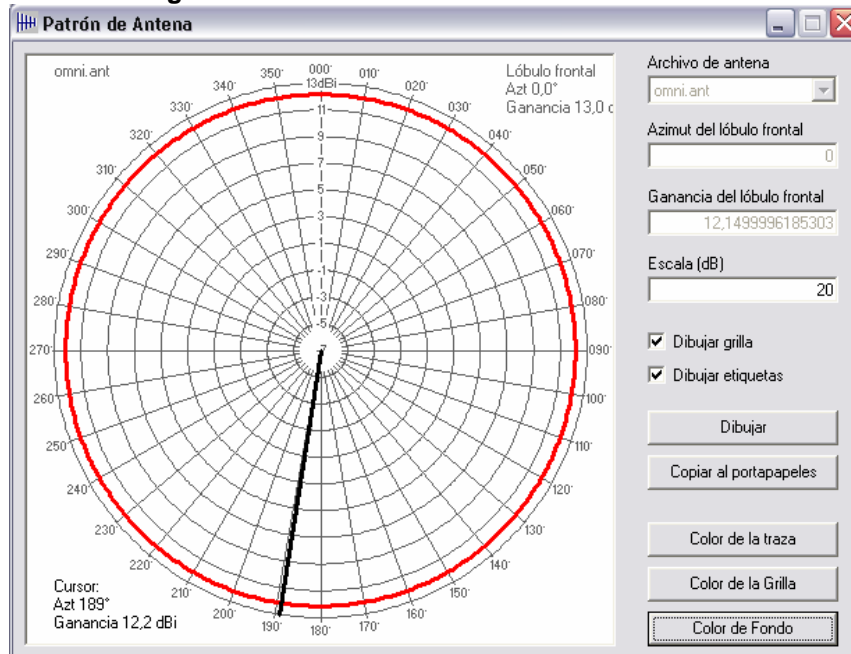
El software también posee otras opciones como valor agregado como es la ilustración de los lóbulos de las antenas, estos varían dependiendo del tipo de antena que se está utilizando y el direccionamiento que tenga, en el caso de los equipos utilizados en la instalación se tienen los lóbulos de las antenas Yagui (figura 118) y el de la antena Omnidireccional utilizado para los sitios de repetición y centro de control (figura 119).

Figura 123. Lóbulo de antena Yagui



Fuente. Autor

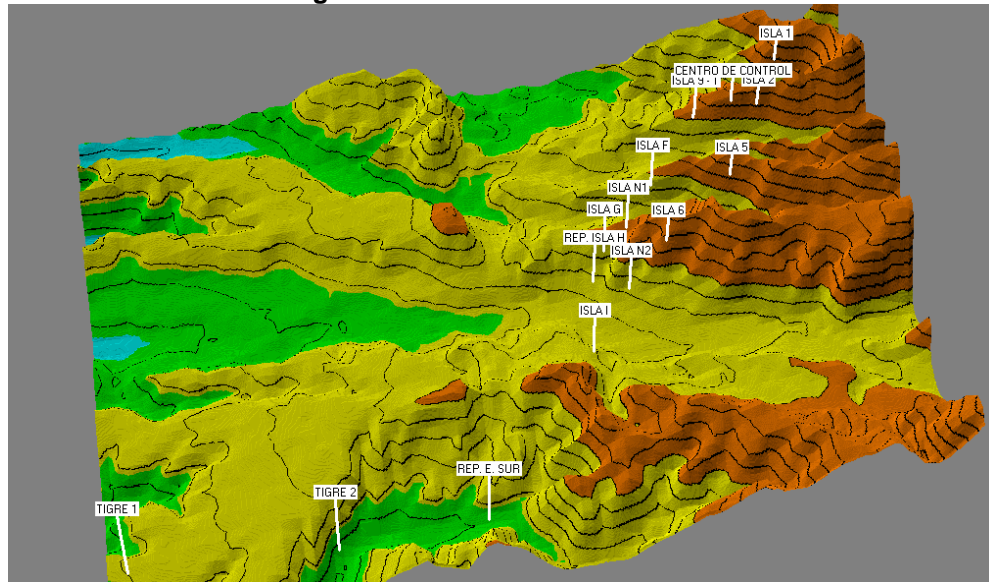
Figura 124. Lóbulo de antena Omnidireccional



Fuente. Autor

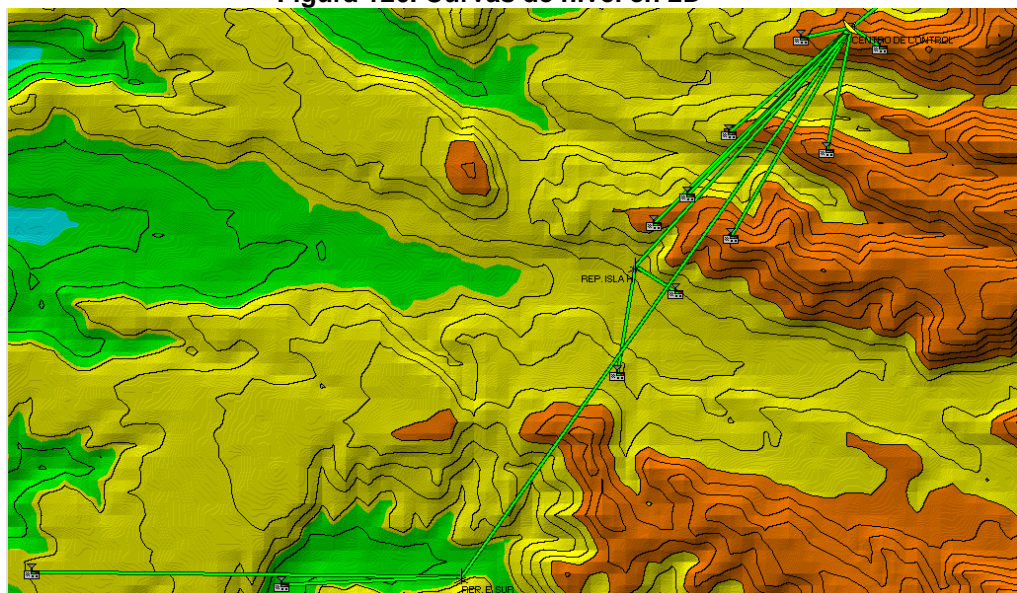
Otra de las utilidades del Radio Mobile es que este puede cargar en el mapa las curvas de nivel y resaltarlas, la distancia entre cada curva se puede editar de la forma que el usuario la vea mas útil en las figuras 120 y 121 se editaron a una distancia de cada 20 metros y los resultados se ilustran a continuación.

**Figura 125. Curvas de nivel en 3D**



**Fuente. Autor**

**Figura 126. Curvas de nivel en 2D**



**Fuente. Autor**

# **11 MONITOREO REMOTO DE LOS CAMPOS DE PETROBRÁS.**

## **11.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La empresa Petrobrás con el fin de obtener un mejor control de sus campos de producción ve la necesidad de implementar nuevas tecnologías para mantenerse informado sin tener que depender de los operadores o ingenieros encargados, por este motivo es indispensable iniciar estudios para encontrar una forma de acceso remoto a la información que se maneja solo en campo desde las oficinas principales en la ciudad de Bogota sede administrativa.

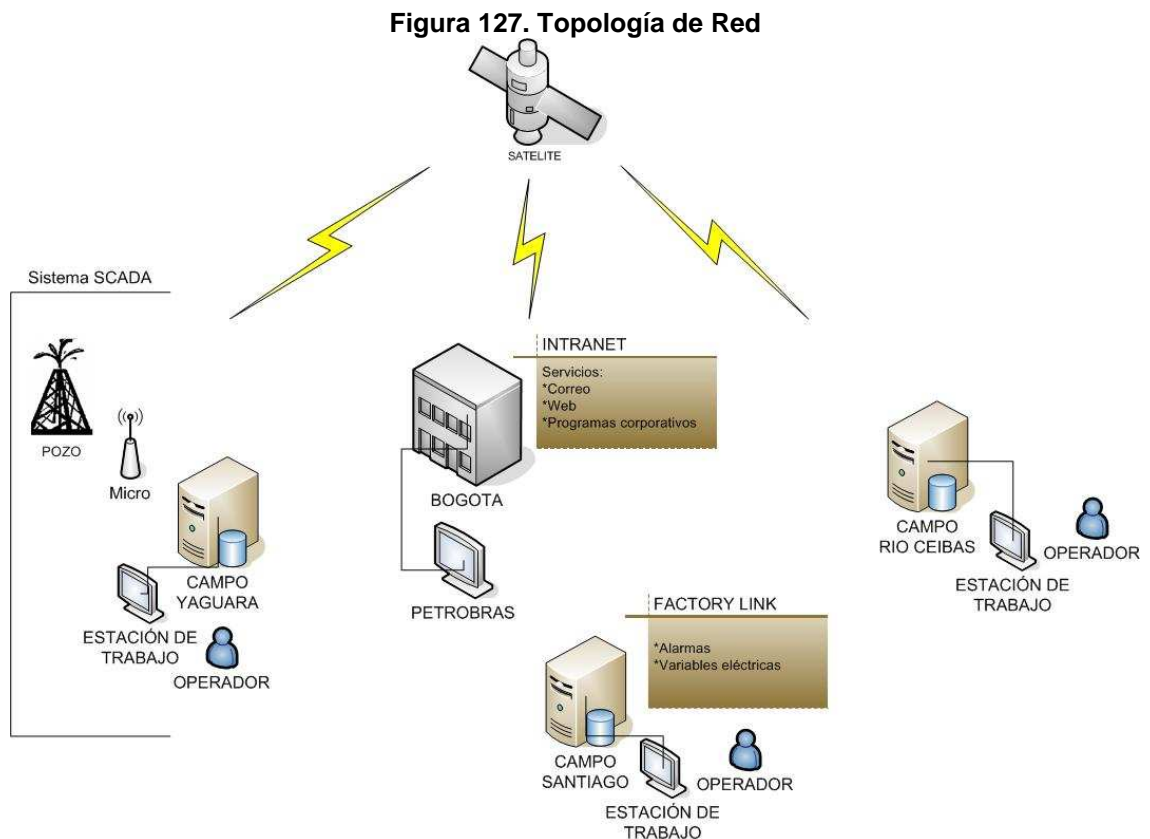
Teniendo un monitoreo remoto de sus campos los ingenieros podrán realizar estudios de históricos y revisar las tendencias de las variables mas relevante y así determinar como se comportan los campos a través del tiempo.

El proyecto de monitoreo de pozos remotos en los campos de Petrobrás, que se encuentra actualmente en ejecución, es el escogido para realizar los estudios de viabilidad, teniendo en cuenta una solución que se acomode a los equipos existentes y a la infraestructura informática que posee Petrobrás.

Una vez sabiendo la importancia de los históricos y las tendencias, se propondrá una solución para monitorear casi en tiempo real la información clasificada que se recoja de los pozos ubicados dentro de los campos de Petrobrás.

## 11.2 TOPOLOGÍA DE RED PETROBRÁS

Para poder generar una propuesta se debe hacer un esquema preliminar de una posible topología de red que se maneja en la empresa, esta se supone ya que no es posible tener el diseño exacto, que por cuestiones de seguridad de la empresa no es suministrada.



Fuente. Autor

## 11.3 PROPUESTA DE MONITOREO A LOS SERVIDORES REMOTOS EN TIEMPO REAL.

### 11.3.1 Servidores:

- Configuración de los servidores para compartir la aplicación Factory link.

- Protocolo (TCP/IP) (Explorador)
  - Configuración de las direcciones MAC (SOLO PC DEFINIDOS)
- Creación de 2 usuarios con niveles de permisos remotos.
  - Modificación en su defecto (El usuario ya existe)
  - Configuración del servidor (Bogota)
- Creación de permisos de acceso a los servidores remotos.
  - Modificación y configuración de los servidores en los campos.

**Observación preliminar:**

Se recomienda al área de informática encargada de administrar los servidores, evaluar los (SI) sistemas de información y las (TI) tecnologías de información que la empresa posee para determinar si la configuración de acceso remoto es posible con la infraestructura que se tiene implantada.

En su defecto, se recomienda:

- Modificar el sistema de información que se tiene implantado en la empresa y adecuarlo sin alterar la información que allí se maneja.
- Adquirir nuevo hardware o software que permita el acceso remoto a los servidores.
- Diseñar un sistema de información que este estructurado con nuevas tendencias tecnológicas y presente soluciones que estén a la vanguardia de las TI, regido por documentos y normas de certificación.

### **11.3.2 Base de Datos:**

- Creación de nuevos filtros que permitan la extracción de nuevas tablas.
  - **Campos recomendados:**
    - Un historial de tiempo que permita registrar:
- Minutos / horas / días / semanas / meses / años
  - PARA CADA VARIABLE:*
- Voltaje / corriente / presión / velocidad / torque / alarmas.

### **Observación preliminar:**

Se recomienda al área de sistemas evaluar si la base de datos es suficientemente robusta para soportar los requerimientos de:

- Administración de la información. (Características básicas de DB)
- Seguridad de la información.

En su defecto, se recomienda:

- Hacer las modificaciones o implementaciones correspondientes a la base de datos actual.
- Adquirir un sistema gestor de base de datos que sea portable y apropiado para el sistema de información que se esta manejando actualmente en la empresa.
- Adquirir y configurar una nueva base de datos que reúna las características y necesidades del negocio.

### 11.3.3 Interfaz de Usuario:

Se recomienda incluir en los requerimientos de una versión futura de la aplicación FACTORY LINK las siguientes interfases o funcionalidades:

- Interfaz 1.

Figura 128. Interfaz de Variables



VARIABLES ELECTRICAS

**BR**  
**PETROBRAS**

**SELECCIONE LA VARIABLE DESEADA**

Voltaje  
Corriente  
Presión  
Velocidad  
Torque  
Alarmas.

pozo

Graficar contra tiempo  
 Mostrar tabla

**HISTORIAL DE TIEMPO**

Minutos  
Horas  
Días  
Semanas  
Meses  
Años

salir SIGUIENTE

Fuente. Autor

1. En la tabla 1 se selecciona la variable deseada.
2. En la tabla 2 se selecciona el historial de tiempo deseado.
3. a la derecha encontramos una pestaña que nos permite seleccionar el pozo que queremos evaluar.
4. A la derecha de la interfaz hay dos opciones:

- **Graficar contra tiempo:** Nos genera una grafica de la variable elegida contra el tiempo elegido en las tablas anteriores.
  - **Mostrar tabla:** Nos genera una tabla con todos los datos de la variable seleccionada con su respectivo tiempo.
5. El icono ayuda permite mostrar una guía practica que nos asesora en el manejo del programa.
  6. El botón salir nos permite retirarnos de la aplicación en cualquier momento.
  7. El botón siguiente nos permite generar ya sea la grafica o la tabla.
- **Interfaz 2.**

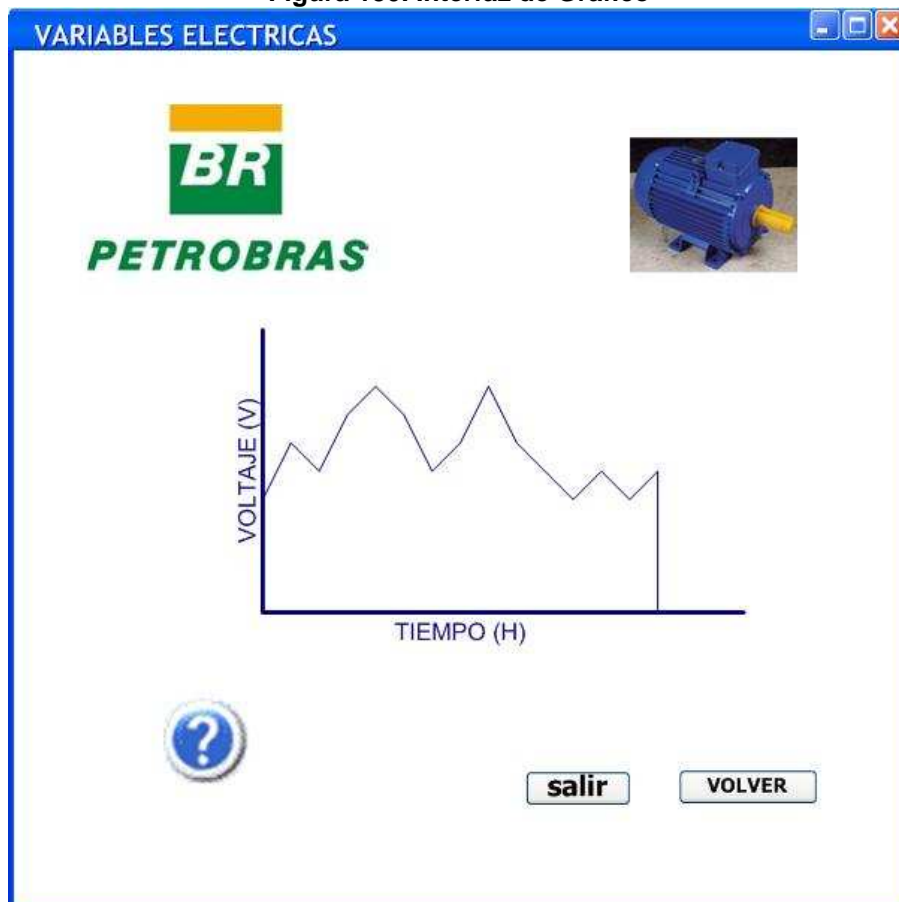
Figura 129. Interfaz de Tablas



Fuente. Autor

1. La tabla mostrada en la interfaz 2 muestra los datos generados de voltaje versus tiempo (en este ejemplo son horas).
  2. El icono ayuda permite mostrar una guía practica que nos asesora en el manejo del programa.
  3. El botón salir nos permite retirarnos de la aplicación en cualquier momento.
  4. El botón volver nos permite regresar a la interfaz 1 y realizar todas la opciones que allí se encuentran.
- **Interfaz 3.**

Figura 130. Interfaz de Grafico



Fuente. Autor

1. La interfaz 3 muestra posibles graficas que se pueden generar con los filtros configurados en la base de datos.
2. El icono ayuda permite mostrar una guía practica que nos asesora en el manejo del programa.
3. El botón salir nos permite retirarnos de la aplicación en cualquier momento.
4. El botón volver nos permite regresar a la interfaz 1 y realizar todas la opciones que allí se encuentran.

## **CONCLUSIONES**

Para iniciar un proyecto de monitoreo remoto de pozos petroleros se debe realizar un estudio de los equipos que interactúan en los procesos de extracción de crudo para determinar de donde se va a extraer la información que se va a monitorear.

Como se observa en el proyecto de monitoreo de pozos remoto el protocolo Modbus a nivel industrial es uno de los mas utilizados, ya la mayoría de las nuevas tecnologías se encuentran estandarizadas a este.

Para la implementación de un sistema SCADA se debe tener el dominio de los niveles que lo conforman (nivel de instrumentación, nivel de RTU, nivel de comunicaciones y nivel de centro de control), para entregar una solución completa que cumpla con las necesidades del cliente.

Los elementos que se van utilizar para la implementación del proyecto deben tener compatibilidad con los equipos existentes en la empresa para evitar cambios innecesarios.

La empresa que se escogió para el proyecto de monitoreo de pozos tiene que proporcionar una solución integral (Software y Hardware) que cuente con un respaldo, en este caso dicho respaldo lo otorga la tecnología Motorola, ya que esta aprovecha la infraestructura existente de una forma completa y proporciona la mejor alternativa técnica y económica.

La automatización es una inversión conveniente ya que va a favorecer a la empresa mejorando los procesos, reduciendo costos y aprovechado al máximo el tiempo en la producción.

Para la gestión de un proyecto los ingenieros a cargo deben tener la capacidad de interpretar la necesidad y encontrar la mejor solución, además de hacer encajar la solución con la normatividad de la empresa y por último hacer el seguimiento a la ejecución del proyecto teniendo en cuenta los problemas que se presenten en el desarrollo de este.

Un factor que no se tiene en cuenta y que es importante a la hora del desarrollo del proyecto son los requisitos que se necesitan para cumplir con las normas de seguridad industrial, ya que esta es el área encargada de avalar el inicio de los trabajos en los campos.

Para el estudio del sistema de radio enlace se utilizaron dos métodos, el modelo matemático y por medio de un software especializado en esto; a nivel industrial las empresas utilizan el segundo método ya que tiene herramientas más complejas que el modelo matemático no ofrece, como la facilidad de manejo, el ahorro de tiempo y los resultados se aproximan más a la topología real de la red, por otro lado el modelo matemático es más ideal y esto dificulta la exactitud en los trabajos.

Se plantea una solución sencilla de implementar para monitorear los datos del sistema SCADA de los campos de producción con las oficinas de Petrobrás en Bogotá, teniendo en cuenta que debe ser estudiado por el personal encargado en el área de sistemas de la empresa, ya que se propone hacer modificaciones a los servicios de internet y a los servidores asignados para el monitoreo de pozos remoto.

## RECOMENDACIONES

El ingeniero a cargo de un proyecto para una empresa debe tener en cuenta los alcances, las limitaciones e inconvenientes que se puedan generar a la hora del gestionamiento que se realiza antes de la ejecución y así lograr reducir los inconvenientes que puedan retrasar el desarrollo de este.

Para el desarrollo de un proyecto no solo se debe preparar para solucionar el problema de la empresa sino también para encajar el trabajo con las normas de seguridad industrial que se maneje, ya que estas exigencias pueden afectar el desarrollo del proyecto si no se cumplen.

La solución que se plantee para la empresa debe ser una solución integral, tanto en software como en hardware, esto le permitirá tener un mayor control en la compatibilidad de los equipos y la propuesta será más llamativa para los clientes.

El ejecutor del proyecto debe tener en cuenta que a la hora del desarrollo se podrán presentar inconvenientes el cual retrasaran los trabajos en campo y esto se debe tener presente a la hora de realizar el cronograma de ejecución estipulado en el alcance.

Un proyecto se debe iniciar con una visita previa antes de la ejecución, para saber con que equipos se cuenta y que material se necesitara para la implementación, ya que la renovación de los equipos existentes no siempre es la mejor solución a los problemas.

# BIBLIOGRAFIA

## LIBROS

- Forouzan, Bethrouz. Transmisión de datos y redes de comunicación, 2ª Edición, Madrid, Mc Graw Hill, 2002.
- Stallings, William. Comunicaciones y redes de computadores, 5ª edición, Madrid, Prentice Hall, 1997.
- Wayne, Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Prentice Hall, México 2003..
- Cisco Systems. Interconexión de dispositivos de red Cisco. CCNA #640-507. Págs. 2 a 38 y 146 a 153.
- Ballcels Joseph, Romeral J. L. Autómatas programables. Editorial Alfa omega. 1998
- Morcillo R., P., Cócera R, J. "Comunicaciones Industriales". Internacional Thomson Editores Spain Paraninfo S.A. 2000.
- Halsall, Fred "Comunicación de datos, redes de computadores y sistemas abiertos". Cuarta edición. Addison-Wesley Iberoamericana. 1998.

## TUTORIALES.

- Manuales de operación radio motorola.
- Base de datos suministra por Petrobrás.

- Manual Variador MICROMASTER 440 de Siemens

#### SITIOS WEB RECOMENDADOS

- <http://www.advosol.com>, Enero de 2007
- <http://neo.lcc.uma.es>, Marzo 2007
- <http://www.inf.udec.cl>, Marzo 2007
- <http://www.motorola.com>, Abril 2007
- <http://www.epsolutions.com>, Octubre 2007
- <http://digital.ni.com>, Octubre 2007
- <http://www.santiagoapostol.net>, Enero de 2008
- <http://biblioteca.upc.es>, Enero de 2008

**ANEXO A.**  
**Marcas de Variadores**

**Anexo B.**  
**Ejemplo de Unidad Terminal Remota**

**Anexo C.**  
**Datasheet Moscad L de Motorola.**

**Anexo D.**  
**Datasheet Radio EM200 De Motorola.**

**Anexo E.**  
**Datasheet Antena Yagui.**

**Anexo F.**  
**Datasheet Antena Omnidireccional.**

**Anexo G.**  
**Datasheet Factory Link.**

**Anexo H.**  
**Mapa de acceso a los pozos de Petrobrás**